

Joonas Holopainen

Laivan kaapelointiprosessin kehittäminen käyttäen esikatkaistuja kaapeleita

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Sähkötekniikka

Insinöörityö

30.12.2015

Alkusanat

Aloitin työskentelyn Arctech Helsinki Shipyard Oy:ssä keväällä 2015 laivojen sähkövarustelussa. Kiitän esimiestäni Antti Niemelää hyvästä ja mielenkiintoisesta opinnäytetyöaiheesta sekä hyvästä ohjaamisesta koko opinnäytetyön tekemisen ajan. Lisäksi kiitän kaikkia opinnäytetyön tekemiseen myötävaikuttaneita Arctech Helsinki Shipyard Oy:n työntekijöitä. Erityiskiitokset sähkösuunnittelun ryhmänvetäjä Unto Ryytäälle ja sähkövarustelun työsuunnittelija Matti Peltoselle, joilta sain paljon hyviä neuvoja työtä tehdessäni.

Helsingissä 30.12.2015

Joonas Holopainen

Tekijä Otsikko Sivumäärä Aika	Joonas Holopainen Laivan kaapelointiprosessin kehittäminen käyttäen esikatkaistuja kaapeleita 32 sivua + 3 liitettä 30.12.2015
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Sähkötekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	Sähkövoimatekniikka
Ohjaajat	Sähkö- ja sisustusvarustelu, osastopäällikkö Antti Niemelä lehtori Osmo Massinen
<p>Tämä insinööri työ tehtiin Arctech Helsinki Shipyard Oy:n toimeksiannosta. Insinööri työn tavoitteena oli selvittää esikatkaistujen kaapeleiden käyttömahdollisuuksia Helsingin telakalla rakennettavien laivojen kaapeloinnissa. Esikatkaistujen kaapeleiden käytön tarkoituksena on tehostaa työntekoa, vähentää materiaalihävikkiä ja lyhentää kaapeloinnin läpimenoaika.</p> <p>Insinööri työssä pääasiallisena lähdemateriaalina käytettiin yrityksen sisäisiä dokumentteja ja työntekijöiden haastatteluita. Sähkösuunnittelumateriaalin tarkkuuden ja oikeellisuuden todettiin vaikuttavan erittäin paljon kaapelointityöhön ja niiden merkityksen lisääntyvän käytettäessä esikatkaistuja kaapeleita. Kaapeleiden esikatkaaisuun vaadittavat lähtötiedot saadaan suoraan suunnittelumateriaalista. Lisäksi selvitettiin telakan toimittajaverkoston käyttämistä esikatkaistujen kaapeleiden hankintaan.</p> <p>Työssä tehdyssä asennustöiden vertailussa todettiin esikatkaistujen kaapeleiden käytön tehostavan työntekoa ja vähentävän kaapeleiden asennustyöhön käytettyä aikaa huomattavasti. Säästetty aika pystytään hyödyntämään seuraavaan työvaiheeseen ja näin lyhentämään kaapeloinnin läpimenoaika. Asennustöiden vertailu suoritettiin telakalla rakenteilla olleessa jäänmurtajassa. Insinööri työn toimeksiantaja pystyy käyttämään työtä pohjana siirtyessään mahdollisesti käyttämään esikatkaistuja kaapeleita laivojen kaapeloinnissa.</p> <p>Liitteet 2 ja 3 on poistettu insinööri työn julkisesta versiosta niiden sisältäessä liikesalaisuuksia ja ollessa vain Arctech Helsinki Shipyard Oy:n käyttöön.</p>	
Avainsanat	laiva, kaapelointi, kaapeleiden esikatkaistu

Author Title	Joonas Holopainen Developing of the Cabling Process of a Ship by Using Pre-Cut Cables
Number of Pages Date	32 pages + 3 appendices 30 December 2015
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Electrical Engineering
Specialisation option	Electrical Power Engineering
Instructors	Antti Niemelä, Manager, Electrical and Interior Outfitting Osmo Massinen, Senior Lecturer
<p>This thesis was assigned by Arctech Helsinki Shipyard Inc. The purpose of this thesis was to determine the suitability of using pre-cut cables in the cabling process of ships, build in Helsinki shipyard. The aim to be reached by using pre-cut cables is to boost work efficiency, reduce material losses and to reduce object time of cabling process.</p> <p>In this thesis, the main information sources were the company's internal documents and the interviews of the current employees. It was discovered that electrical designing materials' specificity and validity have great influence on whether cabling is done correctly and cost efficiently. The effect of electrical designing materials on cabling will increase when using pre-cut cables, as the information needed for successful cable pre-cut process is given in the designing materials. In addition, acquisition of pre-cut cables by using shipyards existing supplier network was clarified.</p> <p>In comparison of working methods, it was discovered that by using pre-cut cables it is possible to boost work efficiency and to conserve valuable working time significantly. Saved time can be used for the following work phase and in that way, it is possible to reduce the total object time of the cabling process. Comparison of working methods was made in the icebreaker currently under construction at the shipyard. The assigner can use this thesis as a starting point when considering using pre-cut cables in ships' cabling process in the future.</p> <p>Appendices 2 and 3 are not published with this thesis to protect Arctech Helsinki Shipyard Inc.'s trade secrets.</p>	
Keywords	ship, cabling, pre-cut cables

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Laivan kaapelointiprosessi	2
2.1	Sähkösuunnittelun perus- ja valmistussuunnitteluvaihe	3
2.2	Laivan sähköverkon rakenne yleisesti	4
2.3	Laivakaapelit	5
2.4	Kaapelireititys	6
2.4.1	Reititettävät kaapelimäärät	8
2.4.2	3D -mallintamisen käyttö reitityksessä	9
2.5	Vetolistat	9
2.6	Kaapelien asentaminen Helsingin telakalla	11
2.6.1	Pitkien kaapeleiden asennustyön kulku yleisesti	13
2.6.2	Luokituslaitoksien vaatimukset kaapeloinnille	15
3	Kaapeleiden esikatkaisu	15
3.1	Esikatkaisuun vaadittavat lähtötiedot	16
3.2	Yhteistyökumppanin käyttö kaapeleiden esikatkaisuun	16
4	Kaapeloinnin kustannusten muodostuminen	19
4.1	Työkustannusten muodostuminen	19
4.2	Materiaalikustannusten muodostuminen	20
5	Pitkien kaapeleiden asennustyön vertailu	22
5.1	Asennustyön vertailun tulokset	23
5.1.1	Kaapeleiden asentaminen telakan perinteisellä tavalla	24
5.1.2	Kaapeleiden asentaminen käyttäen esikatkaistuja kaapeleita	24
5.2	Esikatkaistujen kaapeleiden käytön vaikutukset	26
5.2.1	Käytöstä saatavat hyödyt	26
5.2.2	Käyttöönottoon liittyvät haasteet	27
6	Hyödyntämiskohteet	28
7	Yhteenveto	30

Liitteet

Liite 1. Vetolista

Liite 2. Mittauspöytä

Liite 3. Kustannuslaskelma

Lyhenteet

UPS	Uninterruptible Power Supply; keskeytymätön tehonsyöttö
IEC	International Electrotechnical Commission; kansainvälinen sähköalan standardointijärjestö
IMO	International Maritime Organization; kansainvälinen merenkulun keskusjärjestö
EMC	Electromagnetic Compability; sähkömagnettilinen yhteensopivuus
NB	New Building; uudisrakennus
HDG	Harbour Diesel Generator; satamadieselgeneraattori
ECR	Engine Control Room; konevalvomo

1 Johdanto

Tämä insinöörityö tehtiin Arctech Helsinki Shipyard Oy:n toimeksiannosta. Arctech on erikoistunut arktisissa olosuhteissa käytettävien alusten rakentamiseen. Telakan vahvan laivanrakentamisen osaamisen ja jatkuvan kehitystyön takia yritys on saavuttanut merkittävän aseman muun muassa jäänmurtajien rakentajana. Yli puolet maailman jäänmurtajista on rakennettu kyseisellä telakalla. [1.]

Insinöörityössä tutkittiin laivojen sähkövarustelussa tehtävän kaapelointityön taloudellista ja teknistä kehittämistä käyttämällä kaapelinvetolistan mukaiseen mittaan valmiiksi katkaistuja eli esikatkaistuja kaapeleita laivan kaapeloinnissa. Jatkuvasti kiihtyvä kilpailu meriteollisuudessa vaatii tuotantotapojen kehittämistä jokaisella laivanrakennuksen osalla alueella. Sähkön merkitys laivojen rakentamisessa on kasvanut huomattavasti diesel-sähköisen voimansiirron myötä. Käytännössä jokainen laivan järjestelmä toimii ainakin osittain sähköllä. Lisäksi automaatiojärjestelmien kehittyminen ja lisääntyminen merenkulussa on kasvattanut laivojen kaapeloinnin määrää.

Insinöörityön tarkoituksena oli selvittää esikatkaistujen kaapeleiden käyttömahdollisuuksia laivojen kaapeloinnissa Helsingin telakalla ja niiden käytössä huomioitavia asioita, kuten kustannuksiin tulevia muutoksia ja käyttöön tarvittavaa sähkösuunnittelumateriaalia. Esikatkaistuja kaapeleita on tarkoitus alkaa käyttämään telakalla rakennettavien laivojen kaapeloinnissa, mikäli se osoittautuu kannattavaksi ja on järkevästi toteutettavissa.

Laivan sähköistäminen ja kaapelointi, tuotantovaiheina käsiteltynä, tukeutuu vahvasti sähkö- ja tilasuunnittelun onnistumiseen. Mahdollisimman tarkka sähkösuunnittelumateriaali mahdollistaa materiaalihävikin vähentämisen, työn teon tehostamisen ja työvaiheiden läpimenoajan lyhentämisen.

Insinöörityön luonteen vuoksi työssä on käytetty pääasiallisina tietolähteinä työntekijöiden haastatteluita ja toimeksiantajan dokumentointeja nykyisistä toimintatavoista. Insinöörityössä tehtiin lisäksi case-tutkimus, jossa verrattiin rakenteilla olevan jäänmurtajan kaapelointia telakalla tähän saakka käytössä olleella tavalla ja hyödyntäen esikatkaistuja kaapeleita.

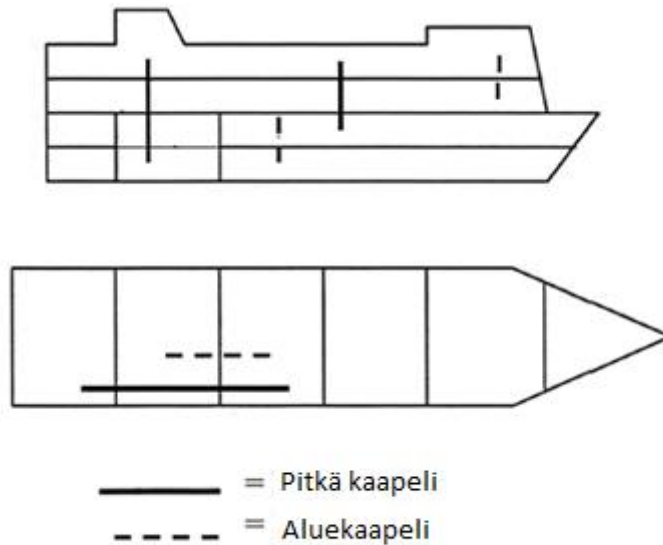
2 Laivan kaapelointiprosessi

Laivan kaapelointiprosessin voidaan katsoa alkavan sähkösuunnittelusta ja kaapeleiden reitittämisestä sekä kaapeleiden hankinnasta ja päättyvän kaapeleiden asennukseen. Jokainen osakokonaisuus on enemmän tai vähemmän riippuvainen työjärjestyksessä edellisestä vaiheesta. Onnistuneen lopputuloksen saavuttaminen vaatii jokaisen prosessin osakokonaisuuden oikeanlaista toimintaa.

Kaapeloinnilla tarkoitetaan tyypillisesti kaapeleiden asentamista kaapeliradalle tai -putkeen ja kaapelin viemistä kaapeloitavan laitteen läheisyyteen niin, että kaapelin kytkeminen laitteeseen on mahdollista. Laivan kaapelointi jakautuu tällä telakalla aluekaapelointiin ja niin kutsuttujen pitkien kaapeleiden asentamiseen. Aluekaapeloinnissa ja pitkien kaapeleiden asennuksessa hyödynnetään tällä telakalla toiminnanohjauksen luomaa alue- ja laipiovastuupiirustusta, joka määrittelee jokaiseen alueeseen kuuluvat tilat ja alueiden vastuulliset osastot. Tyypillisiä aluekokonaisuuksia muodostavat esimerkiksi hyttialueet, pääkonehuone, konevalvomo ja ohjaamo. Alueiden numeroinnissa alueen numero muodostetaan siten, että ensimmäinen merkki merkitsee laivan kantta tai selkeää suurempaa kokonaisuutta, kuten konekuilua.

Aluekaapeloinnin suorittaa kullakin alueella työskentelevät sähköasentajat käyttäen apunaan sähkösuunnittelun tekemää kaapeliluetteloa alueesta, kaapeloitavien laitteiden kaapelointikaavioita sekä aluevastuullisen osaston tekemää laitesijoituspiirustusta. Kaapelointia tehtäessä on noudatettava alueilla mahdollisesti olevia viranomaisien tai luokitelluksen määräyksiä ja sääntöjä kaapeloinnista.

Pitkien kaapeleiden asennuksella tarkoitetaan kaapelin asentamista ja viemistä yhdeltä alueelta toiselle alueelle niin, että ensimmäisen ja toisen alueen väliin jää yksi tai useampi alue. Kaapelin kulkeminen alueelta toiselle asianmukaista reittiä varmistetaan reitittämällä. Tällaisten kaapeleiden asentamisen suorittaa tällä telakalla suurimmaksi osaksi työhön erikoistuneet yhteistyökumppanit. Työ suoritetaan käyttäen kaapelivetoa, joka sisältää kaiken tuotannon kannalta olennaisen tiedon asennettavista kaapeleista. Pitkien kaapeleiden asentaminen aloitetaan rungon koonnin, kaapelirataverkon valmiuden ja laitesijoitteluiden määräämien edellytysten täytyttyä.



Kuva 1. Aluekaapelin ja pitkän kaapelin ero yksinkertaistetulla aluepiirustuksella. Tällä telakalla reititetään yleensä vain pitkät kaapelit.

Tässä insinööriyössä tutkimuksen pääpaino oli pitkien kaapeleiden asentamisessa. Pitkien kaapeleiden asentaminen esimerkiksi jäänmurtajassa on noin, projektista riippuen, kahdeksasta kymmeneen viikon mittainen tuotantovaihe.

2.1 Sähkösuunnittelun perus- ja valmistussuunnitteluvaihe

Laivan suunnittelu jakautuu Helsingin telakalla perussuunnitteluun ja valmistussuunnitteluun. Suunnittelu aloitetaan laivan tilanneen varustamon antaman erittelyn perusteella perussuunnittelulla. Perussuunnittelun aineistoa käytetään laivan ja sen järjestelmien hyväksyttämisineistona laivan tilaajalle, viranomaisille ja valmistuvan laivan tarkastavalle luokituslaitokselle. Perussuunnitteluaineiston tulee siis täyttää laivaerittelyssä annetut säännöt, määräykset ja tekninen sisältö.

Sähkösuunnittelun perussuunnitteluvaiheessa luodaan järjestelmäkaaviot, toimintaselostukset, laite-erittelyt ja tilajärjestelypiirustukset. Tilajärjestelypiirustuksien tekemisessä on ajateltava suunnittelun myöhempiä vaiheita muun muassa huomioimalla kaapeloinnissa käytettävien kaapeliratojen paikat ja sähkölaitteiden sijoitukset. Tämä mahdollistaa myöhemmässä vaiheessa kaapelointikustannusten ja kaapelimäärien arvioin-

nin. Perussuunnitteluvaiheessa aloitetaan myös komponenttien hankinnat. Sähkölaitteille luodaan materiaalinohjausjärjestelmän käyttöä varten yksiköllinen tunnus. Tunnukset luodaan tyypillisesti telakan käytäntöä noudattaen ja niitä käytetään johdonmukaisesti suunnittelusta aina tuotantoon ja luovutukseen saakka. [2, s. 2.] Usein suunnittelussa käytetään apuna aiempia laivaprojekteja, sillä esimerkiksi laivan todellisen tehon tarpeen määrittäminen voi muodostua hyvin haastavaksi ennen todenmukaisen sähkönkuluttajaluettelon valmistumista.

Valmistussuunnitteluaineisto, joka toimii tuotannon valmistus- ja työohjeina, tehdään perussuunnitteluaineiston pohjalta. Sähkösuunnittelun valmistussuunnittelussa pyritään hyödyntämään telakan vakioratkaisuja ja täsmentämään perussuunnittelun aineistoa. Kaikki työpiirustukset ja johdotuskuvat luodaan tässä vaiheessa sekä lisäksi jatketaan tuotannon tarvitsemien materiaalien määrittelyä ja hankintaa. [2, s. 6.]

2.2 Laivan sähköverkon rakenne yleisesti

Sähkösuunnittelun perussuunnitteluvaiheen tärkeimpiä ja suurimpia osuuksia on rakennettavan laivan sähköverkon suunnittelu. Laivan sähköverkon rakenne muistuttaa maapuolen sähköverkkoa pienoiskoossa. Laivassa on oma sähkön tuotantolaitos, oma siirtoverkko ja omat sähkön kuluttajat. Tällä telakalla rakennettavien laivojen sähköjärjestelmäksi on vakiintunut IT-järjestelmä, joka käytännössä tarkoittaa verkon nollapisteen olevan niin sanotusti kelluva. IT-järjestelmän sähköverkko on täysin erotettu maapotentiaalista lukuun ottamatta generaattoreiden tähtipisteitä, jotka maadoitetaan laivan runkoon suurten vastusten kautta. Tähtipisteiden maadoitus mahdollistaa maavuotojen tarkkailun. Tämä onkin oleellinen tarkkailtava arvo, sillä yksittäinen maavuoto ei vielä aiheuta toiminnan katkeamista. Tähtipisteen maadoitus vastusten kautta myös pienentää vikatilanteissa syntyviä maasulkuvirtoja.

Sähköä tuotetaan laivoissa tyypillisesti dieselgeneraattoreilla, jotka on kytketty laivan välijänniteverkkoon. Välijänniteverkosta syötetään tehontarpeeltaan laivan suurimpia yksittäisiä kuluttajia, kuten potkurijärjestelmiä. Kolmivaiheisia kuluttajia syötetään omasta verkosta muuntajien kautta, jotka muuntavat välijännitteen 400 V:n jännitetasoon. IT-järjestelmän paluujohtimettoman rakenteen vuoksi sähköä kuluttavia laitteita syötetään kahden vaiheen välistä. Yksivaiheisille 230V-laitteille ja kojeille tarvitaankin tästä syystä oma pienjänniteverkko.

Päädieselgeneraattoreiden lisäksi laivoissa on nykyään yleensä satamassa oloa varten satamadieselkoneet sekä maistasyöttökeskukset, joiden kautta laiva voidaan kytkeä sataman sähköverkkoon. Satamadieselgeneraattorit ja maistasyöttökeskukset on kytketty laivan 400 V:n sähköverkkoon. Normaalisti käytössä olevien 400 V:n ja 230 V:n jännite-tasoilla toimivien sähköverkkojen lisäksi laivoissa on hätätilanteita varten samoille jänni-tetasoille hätäjakeluverkot, joista syötetään toiminnan ja turvallisuuden kannalta välttä-mättömiä järjestelmiä vikatilanteissa. Hätäverkkoa syötetään hätadieselgeneraatto-rin kautta.

Laivan sähköverkon tulee olla kokonaisuudessaan suunniteltu ja rakennettu mahdolli-simman luotettavaksi, jotta alus pystyy toimimaan itsenäisesti jokaisessa tilanteessa. Luotettavuutta ja turvallisuutta lisäämässä on laivoissa UPS-järjestelmä eli keskeytymä-tön tehonsyöttö, joka syöttää tärkeimpiä kuluttajia vikatilanteissakin.

2.3 Laivakaapelit

Laivoissa käytettävät kaapelit eroavat maapuolella käytettävistä kaapeleista useassa asiassa. Näkyvimpänä erona, sähköverkon rakenteen vuoksi, sähkönjakeluun käytettä-vissä kaapeleissa ei ole nollajohdinta kuin poikkeustapauksissa. Laivoissa käytettävien kaapeleiden johdinmateriaali on lähestulkoon poikkeuksetta kupari. Kaapeleiden tulee yleisesti kestää huomattavasti suurempaa jatkuvaa fyysistä kuormitusta kuin maapuo-lella käytetyt kaapelit, mikä johtuu muun muassa laivan rungon jatkuvasta värähtelystä operoitaessa laivaa. Kaapelinvalmistajilla on useita laivakäyttöön tarkoitettuja kaape-leita, jotka on valmistettu IEC 60092 – standardisarjan vaatimusten mukaisesti. Kyseinen standardisarja sisältää kaikki laivojen sähköasennuksissa noudatettavat kansainvälisen sähköalan keskusjärjestön määräykset. IEC -standardisarjan vaatimusten vuoksi kaape-lit ovat valmistajasta riippumatta käytännössä täysin samanlaisia. Vaatimukset perustu-vat lähinnä kaapeleiden eristeissä käytettyihin materiaaleihin, jotta ne ovat riittävän kes-täviä, halogeenittomia ja palamattomia tai paloa hidastavia. Kaapeleissa on yleensä myös kelalla jäljellä olevaa pituutta indikoiva lukema merkittynä kaapelin suojavaippaan metrin välein. Kaapelinvalmistajat nimeävät kaapelinsa käyttäen omia nimeämistapojaan ja tämän vuoksi telakalla on käytössä kaapelointia varten valmistajasta riippumaton kaa-pelityypin nimeämiskäytäntö. Laivasopimuksessa on hyväksytty kaapelivalmistajat, joi-den kaapeleita voidaan käyttää laivan kaapeloinnissa.

Useassa tilanteessa kaapeleilta vaaditaan myös suojausta ulkopuolisilta sähkömagneettisilta häiriöiltä. Erityisen herkkiä sähkömagneettisille häiriöille ovat muun muassa radio-laitteiden, valvontalaitteiden ja navigointilaitteiden kaapeloinnit, ja näihin laitteisiin liittyvät kaapelit tuleekin näin ollen olla häiriösuojattuja. Lisäksi herkkien laitteiden ja kaapeleiden läheisyydessä kulkevat muiden järjestelmien kaapelit sijoitetaan riittävän kauas, jotta sähkömagneettiset häiriöt ei vaikuta häiriöille herkkiin kaapeleihin liiaksi tai nämäkin kaapelit tulee olla suojattuja sähkömagneettisilta häiriöiltä.

Helsingin telakalla rakennetuissa laivoissa on viime vuosina käytetty keskimäärin sataa erilaista kaapelityyppiä laivojen kaapeloinneissa.

2.4 Kaapelireititys

Kaapeleiden reitittämisellä tarkoitetaan jokaiselle kaapelille annettavaa yksilöllistä reittiä laivan kaapelirataverkostossa. Reitittämisen edellytyksenä onkin näin ollen kaapelirata-kaavioiden olemassaolo. Kaapeliratakaavion suunnittelu alkaa turvallisen toiminnan kannalta välttämättömien järjestelmien tehonsyötön reittien suunnittelulla. Luokituslaitokset ja laivojen varustamot vaativat yleisesti laivan potkurijärjestelmille, ja muille toiminnan kannalta välttämättömille järjestelmille, kahdennettuja syöttöjä. Näiden syöttöjen tulee kulkea toisistaan erillään vähintään kahden eri palovyöhykkeen kautta. Vaatimuksen tavoitteena on taata edellytykset laivan ohjaamiselle ja muulle välttämättömälle operoinnille hätä- ja vikatilanteissa. Luokituslaitoksen ja tilaajan tulee erikseen hyväksyä kahdennettujen syöttöjen ja turvallisen toiminnan kannalta välttämättömien syöttöjen reititys.

Kaapeleiden reitityksestä vastaava suunnittelija aloittaa reitittämisen tarkastamalla valmistussuunnittelukuvat, joissa on huomioitu mahdolliset järjestelmien törmäykset ja mahdolliset muutokset perussuunnitteluvaiheessa suunniteltuun kaapelirataverkostoon. Tarkastettuun ja koottuun ratakaavioon lisätään solmupisteet, minkä jälkeen sitä kutsutaan reitityskaavioksi. Solmupisteitä ovat tyypillisesti kaapeliratojen risteykset, kaapelikuilut ja joissain tilanteissa myös laipioon tai kanteen tehtävät kaapeliläpiviennit. Reitti muodostetaan käyttäen reitityskaavion sisältämiä solmupisteitä. [3, s. 1-6.]

Kaapeleiden reitityksestä vastaava sähkösuunnittelija poimii jokaisesta sähkösuunnittelun perussuunnittelukuvasta kaapelit omaan kaapeliluetteloonsa. Perussuunnittelussa ilmoitettujen laitesijoitteluiden perusteella reitittäjä pystyy aloittamaan eri järjestelmien

kaapelireititykset kokoamassaan kaapelirataverkostossa ja erittelemään kaapelit, jotka reititetään reitityskaavion avulla. Ohjelmisto laskee jokaisen kaapelin pituuden käytettyjen solmupisteiden mukaisesti. Myös kaapeliratojen ja läpivientien täyttöaste lasketaan yleensä automaattisesti ohjelmistoon annettujen parametrien mukaisesti. Laitteen ja viimeisen solmupisteen väliin jäävän matkan kaapeli kulkee paikallista, laitteen kytkentää varten tehtyä, kaapelirataa kytkentäpisteelle. Ohjelma ei laske kaapelin pituuteen tätä matkaa. Reitittäjä lisääkin jokaisen kaapelin pituuteen kytkentävaran kaapelin molemmissa päissä. Kytkentävaraa tulee myös lisätä, koska usein laitteeseen liitettävä kaapeli kulkee laitteen sisällä esimerkiksi kaapelikourua pitkin kytkentäpisteelle kohtuullisenkin pitkän matkan. Tämä matka tulee selvittää liitettävien laitteiden sisäisistä piirustuksista. [4.]

Tärkeiden kaapeleiden ja hätäkäyttöjen kannalta olennaisten kaapeleiden reitityksessä tulee huomioida tilat, joiden kautta reitittämistä pyritään välttämään niin paljon kuin mahdollista. Syynä reitittämisen välttämiseen näiden tilojen kautta ovat paloturvallisuusmääräykset sekä sähkömagneettisten häiriöiden välttäminen. Tällaisia tiloja ovat muun muassa:

- polttoaineseparaattorihuone
- roskanpolttohuone
- pää- ja apukonehuoneet
- merenkulkulaitehuoneet
- radiohytti
- kattilahuoneet
- konekuilut
- konevalvontahuone
- keittiöt
- audio-, video- ja tietokonekeskushuoneet
- räjähdysvaaralliset tilat, hermeettiset tilat ja kylmähuoneet.

Lisäksi laivakohtaisesti usein on olemassa tiloja, joiden kautta ja läpi kaapeleiden reititystä tulee välttää. [5, s.7.] Käytännössä kaapeleita joudutaan kuitenkin reitittämään

usein esimerkiksi pääkonehuoneen kautta, jolloin määräysten täyttyminen on varmistettava esimerkiksi kaapelityypin valinnalla tai palovaarallisissa tiloissa suojaamalla kaapelit palomassalla. [4.]

Laivan yli 1 kilovoltin voimakaapelit eli välijännitekaapelit reititetään aina omalle rataverkostolle. Omilla radoillaan kulkevat välijännitekaapelit parantavat laivan käyttöturvallisuutta. Välijännitekaapelit aiheuttavat myös herkästi sähkömagneettisia häiriöitä instrumenttikaapeleille, mikäli ne kulkisivat lähellä näitä. Radat kaapelointineen suojataan mekaanisilla suojilla ja ne merkitään selvästi kaikkialla laivassa.

2.4.1 Reititettävät kaapelimäärät

Laivoissa käytettävien kaapeleiden määrät ja pituudet riippuvat laivan fyysisistä mitoista ja laivan tiloista, kuten teattereista ja ravintoloista. Lisäksi kaapeleiden pituuksiin vaikuttavat laivakohtaiset tarkentavat reitittämissäännöt, joiden vuoksi suuriakin alueita voidaan joutua kiertämään kokonaan reitittäessä. Helsingin telakalla on viime vuosina rakennettu arktisiin olosuhteisiin tarkoitettuja laivoja, jotka ovat olleet työaluksia. Reititettyjen kaapelimäärien vertailua varten onkin tässä insinööritoimistossa käytetty näitä laivoja, sillä ne ovat olleet tiloiltaan hyvin samanlaisia aluksia. Sisätilojen samanlaisuudesta johtuen laivojen pääkaapelireitit ovat olleet samantyyppisiä ja näin ollen myös reitittämisen toimintatapa on ollut toistuva laivojen välillä. Rakenteilla olevaa laivaa ei voitu ottaa vertailuun mukaan, sillä reitittäminen oli työtä tehtäessä kesken.

Taulukko 1. Helsingin telakalla valmistuneiden laivojen reititettyjen kaapeleiden määrät

Laivan tunnus	NB-506	NB-508	NB-509
Rungon pituus [m]	99,9	76,4	119,8
Rungon leveys [m]	21,2	20,5	27,5
Reititetty [m]	102 405,0	61 105,0	122 293,0
Reititetty [kpl]	2816	1564	2206

Taulukosta voidaan todeta, että vaikka alukset ovat olleet sisätiloiltaan hyvin samanlaisia, reititettävät kaapelimäärät ja reititettyjen kaapeleiden keskimääräiset pituudet poikkeavat alusten välillä selvästi. Helsingin telakalla viimeisimpien valmistuneiden laivaprojektien kohdalla reititettävien kaapeleiden määrään ja kaapeleiden pituuteen suurimmat vaikuttavat tekijät ovatkin olleet laivan fyysiset mitat. Voidaankin todeta jokaisen tällä

telakalla viime vuosina rakennetun laivan olleen yksilöllinen reitittämisen suhteen. Sisä-
 ralusten kohdalla pystytään tietenkin hyödyntämään ensimmäisen laivan kaapeleiden
 reitittämisestä saatua tietoa ja osaamista.

Reitittämisen voidaan todeta olevan suuritöinen ja pitkäkestoinen suunnittelun työvaihe,
 jonka valmistuminen ajallaan mahdollistaa tuotannon työn. Ilman reitittäjän tekemää
 työtä onkin lähestulkoon mahdotonta aloittaa pitkien kaapeleiden asennuksia laivassa.

2.4.2 3D-mallintamisen käyttö reitityksessä

Helsingin telakalla on käytössä kolmiulotteiseen suunnitteluun käytettävä ohjelmisto, jota
 käytetään laajasti kone-, kansi- ja runkosuunnittelussa. Ohjelmistolla tehtävä suunnitte-
 lutyö tehdään palvelimella sijaitsevaan projektikohtaiseen laivamalliin, jota suunnittelijat
 muokkaavat omien tarpeidensa mukaisesti. Ohjelmisto tukee sähkösuunnittelun teke-
 mistä laivoihin laajasti, ja sen käyttäminen kaapeleiden reitittämiseen on tätä työtä teh-
 täessä osittain kehitysvaiheessa.

Ohjelmiston käyttö reititykseen alkaa kaapelirataverkoston ja reitityskaavion rakentami-
 sella laivamalliin, jonka jälkeen perustetaan kaapelityypeille omat kaapelitietokannat. Pe-
 russuunnittelukuvista poimituille kaapeleille annetaan ensimmäinen ja viimeinen solmu-
 piste, jolloin ohjelmisto reitittää annettujen parametrien mukaisesti kaapelin reitityskaa-
 vioon. Mikäli reititettäessä myös laitteet on sijoitettu laivamalliin oikein, saadaan kaape-
 lin pituudesta erittäin tarkka tulos. [6.]

3D-mallintamisohjelmiston käytön kehitystyön vuoksi tässä työssä ei käsitellä tarkemmin
 reitittämistä kyseisellä ohjelmistolla.

2.5 Vetolistat

Vetolistaksi kutsutaan kaapeleiden reitityksestä vastaavan sähkösuunnittelijan luomaa
 kaapeliluetteloa reitittämistään kaapeleista, joka on edelleen jaettu pienempiin osiin lai-
 van rakenteen ja telakan toimintatavan mukaisesti. Vetolistat muodostetaan laivakohtai-
 sesti ja tuotannon kanssa yhteistyössä kaapeliluettelosta. Kuten aiemmin mainittu, listoja
 käytetään pitkien kaapeleiden asentamisessa, jolloin jako työkokonaisuuksiin tehdään

seurantanimeroiden perusteella. Vetolistasta pitää sisällään kaiken tuotannon tarvitseman tiedon kaapelin asennusta varten:

- vetolistan seurantanumero
- kaapelin tunnus
- kaapelin tyyppi ja kategoria
- kaapelin kokonaispituus ja tarvittavat kytkentävarat laitteille
- kaapeloitavien laitteiden paikkatiedot
- kaapelin reitti solmupisteiden avulla ilmaistuna
- mikäli erityistä huomiota on käytettävä asennettaessa kaapelia.

Vetolistan seurantanumero muodostuu laitteiden ja alueiden perusteella, joiden välille kaapeli asennetaan. Numero muodostuu tuotannon kanssa sovitun priorisoinnin perusteella. Tärkeysjärjestyksessä ensimmäisenä sijaintinsa perusteella oleva laite määrittelee kumman laitteen sijainnin mukaisen seurantanumeron kaapeli saa. Perussääntönä seurantanumeron antamiselle on ylhäältä alas ja perästä keulaan. Tämä tarkoittaa esimerkiksi sitä, että mikäli ensimmäinen laite sijaitsee ohjaamossa ja toinen laite konehuoneessa, annetaan tälle kaapelille ohjaamon seurantanumero. Näin ollen kaapeli sijoitetaan ohjaamon vetolistalle. Seurantanumero onkin tärkein vetolistan tieto työn koordinaoinnin ja työnsuunnittelun kannalta. Seurantanumero mahdollistaa osaltaan tuotannon edistymisen seuraamisen ja suunnittelun osalta reitittäjän työn edistymisen seuraamisen. Liitteessä 1 on nähtävissä esimerkki vetolistasta.

Taulukko 2. Laivan NB-510 vetolistojen seurantanumeroinnin prioriteettitaulukko.

PRIORITEETTI	ALUE/TILA	SEURANTA NRO.
1	MASTO	121
2	OHJAAMO	102
3	OHJ. LAITETILA	93
4	HDG-TILA	72
5	ECR	46
6	LAITEHUONE	34

Priorisoinnit ovat hioutuneet perusmuotoihinsa vuosien kuluessa tuotannon ja suunnittelun tiiviin yhteistyön tuloksena, mutta silti ne tulee tarkastaa jokaisen projektin kohdalla.

2.6 Kaapelien asentaminen Helsingin telakalla

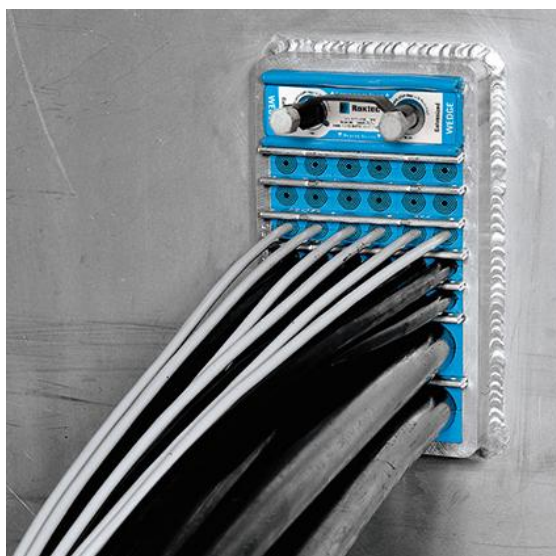
Laivassa kaapeleiden asentaminen on monivaiheinen, tarkkuutta vaativa ja kokonaisuudessaan tärkeä työvaihe, jolla mahdollistetaan valmistuvan laivan toiminta. Kaapeleita asentavien työryhmien on huomioitava työskennellessään suunnittelun antamat ohjeet, kaapeleiden valmistajien antamat ohjeet, IEC 60092 -standardisarjan antamat määräykset, luokituslaitoksen määräykset ja muut laivakohtaiset ohjeistukset.

Helsingin telakalla kaapelit, lukuun ottamatta välilyöntikaapeleita, asennetaan normaalisti kahteen erilliseen ryhmään eli nippuun kaapeliradoille kaapeleiden kategorioiden mukaisesti. Kaapelin kategoria ilmoitetaan vetolistassa ja karkea jako voidaan tehdä heikko- ja vahvavirtakaapeleihin. Suositeltavaa on, että kaapelinnippujen asettelu radoille on yhtenäinen läpi koko laivan. Nippujen välinen etäisyys on tyypillisesti 50 mm, ellei laivakohtaisesti ole sovittu toisin. Kaapeleiden turhaa risteilyä saman tyyppin nippujen välilläkin tulee välttää, ja mikäli radalta toiselle siirryttäessä tai radalta poistuttaessa on ohitettava toinen kaapelinnippu, tulee sitä varten tehdä kaapeliradalle silta. Sillan avulla pystytään pitämään niput siisteinä ja ylläpitämään kaapelinnipuilta vaadittu vähimmäisetäisyys toisiinsa. Radoilla olevat mahdolliset terävät reunat on suojattava, jotta ne eivät vahingoita kaapeleita. [5, s. 6,8.] Kaapeleita asennettaessa radoille on huomioitava myös valmistajan antama pienin sallittu sisäpuolinen taivutussäde. Taivutussäteen merkitys kasvaa kaapelikoon kasvaessa, mutta kaikkien kaapeleiden kohdalla noudatetaan valmistajan arvon lisäksi vähintään IEC 60092-352 -standardissa annettuja arvoja. Yleensä pienin sallittu taivutussäde on armeeraamattomilla kaapeleilla kuusi kertaa kaapelin halkaisija, armeeratuilla kaapeleilla kahdeksan kertaa kaapelin halkaisija ja välilyöntikaapeleilla kaksitoista kertaa kaapelin halkaisija. [7, s. 20.]

Kaapeleiden molempiin päihin tehdään väliaikaismerkinnät, jotka säilytetään kaapeleissa lopulliseen merkintään saakka. Kaapelimerkinnässä tulee aina olla vähintään vetolistan mukainen kaapelitunnus. Väliaikaismerkintä voidaan tehdä esimerkiksi käyttäen kaapelin suojavaipassa näkyvää tussia ja suojaten teksti kirkkaalla teipillä. Laivakohtaisesti voidaan sopia kaapelimerkintään lisättävistä tiedoista, kuten alkuperä- ja loppupään laitetunnuksista. Lopullinen merkintä tehdään laivan tilaajan kanssa sovitulla tavalla ja sovituihin paikkoihin yleensä metallisella kaapelisoljella. [5, s. 10-11.]

Kaapelin reitin kulkiessa vesitiiviin tai palosuojatun laipion tai kannen läpi on kaapeliläpivienti pakattava käyttäen erityisiä läpiviennin pakkaustarvikkeita. Tarvikkeet koostuvat

yleensä läpivientikauluksesta ja pakkausmoduuleista, joilla varmistetaan läpiviennin ilma- ja vesitiiveys. Kaulus hitsataan laipioon tai kanteen tehtyyn aukkoon ja kaapeleiden ympärille asetetaan valmistajan määrittelemät moduulit. Läpivienti tiivistetään valmistajan tiivistepalalla, joka puristaa moduuleita kauluksen sisällä. Toinen yleinen tapa tiivistää läpivienti on käyttää läpivientikaulusta ja täyttää se erityisellä tiivistemassalla. Erityisesti moduulirakenteisia läpivientejä käytettäessä on varmistettava, ettei kaapeliläpivienti tule liian täyteen kaapeleita. Tällöin läpiviennin pakkaamisesta tulee käytännössä mahdotonta. Moduulirakenteisten läpivientien pakkausta tehdään työaikaisesti sopivin välein ja läpiviennin tultua täyteen. [5. s. 6.]



Kuva 2. Esimerkki moduulirakenteisesta kaapeliläpiviennistä. [9.]

Kaapeleita voidaan asentaa metallisiin suojaputkiin, mikäli asennusteknisesti kaapeliradan käyttö on vaikeaa tai kaapeleita tulee erityisesti suojata mekaaniselta, kemialliselta tai ultraviolettivalon aiheuttamilta vahingoilta. Asennettaessa tulee huomioida, ettei heikko- ja vahvavirtakaapeleita asenneta samoihin putkiin, kaapelin vaihtaminen putkessa on mahdollista ja ulkokansille kaapelia tuotaessa se on tehtävä vesitiiviisti. Lämpötilan muutoksista johtuvan veden tiivistymisen vuoksi on huolehdittava siitä, että putkeen lisätään tarvittaessa veden poistolle aukkoja sopiviin kohtiin. Putkiin tehtävien taivutuksien pienin sallittu sisäpuolinen säde on oltava vähintään sama, kuin putkessa kulkeville kaapeleille on sallittu. [5, s. 2-3.] Sisustustiloissa voidaan käyttää myös muovisia kaapelinsuojaputkia samat asiat huomioiden. Muoviset suojaputket on asennettava aina lämpöeristeen lämpimälle puolelle ja riittävälle etäisyydelle kuumista pinnoista. [5, s. 4.]

Konetiloissa kaapeleita ei ole suositeltavaa asentaa turkkitasojen alapuolelle. Jos näin kuitenkin joudutaan tekemään, niin kaapelit on suojattava metallisilla suojaputkilla tai vastaavalla rakenteella. Putken tai rakenteen pää on tuotava mahdollisimman lähelle kaapeloitavaa laitetta huomioiden kytkentään jäävän tilan riittävyys putken tai rakenteen päään ja kytkettävän laitteen välillä, jotta kaapeli ei kulje pitkää matkaa suojaamattomana vahingoittumiselle alttiina. Mitään kaapeleita ei tule asentaa alle 50 mm:n etäisyydelle laivan kaksoispohjasta tai laivan polttoainesäiliöistä, paitsi näihin tiloihin päättyvät kaapelit. Tällaisia päättyviä kaapeleita ovat yleensä antureiden syöttö- ja signaalikaapelit, joita ei muita reittejä voida tuoda antureille saakka. [5, s. 9.]

Kaapelit kiinnitetään alueen viimeistelyvaiheessa kaapeliradoille tyypillisesti radan jokaisen pienen kohdalta, kiinnityskohtien maksimietäisyyden ollessa kuitenkin 400 mm. Tällöin käytetään muovisia ja metallisia nippusiteitä. Metallisia nippusiteitä on käytettävä sovituin välimatkoin takaamaan kaapeleiden kiinnitys mahdollisissa palotilanteissa. Kaapelit kiinnitetään siisteinä nippuina varmistaen, että kaapeleista ei siirry mekaanista vetoa esimerkiksi läpivientiin tai kytkentäpisteeseen. Nippujen pitäminen siistinä ja erillään toisistaan mahdollistetaan kaapelointityön ohessa tehtävällä väliaikaisella kiinnityksellä, joka toteutetaan mahdollisuuksien mukaan käyttäen muovitettua johdinlankaa. Yksivaihekaapeleiden viimeistelyvaiheen sitominen kaapeliradoille tulee tehdä välittömästi kaapeleiden radalle vedon jälkeen, jolla mahdollistetaan vaihejärjestyksen pitäminen yhtäläisenä kaapeleiden reitin varrella. [5, s. 9-10.]

Kaapeliradat on aina maadoitettava laivan runkoon. Yleensä maadoitusvaatimus toteutuu, kun radat hitsataan rungossa kiinni oleviin kannakkeisiin.

Välijännitekaapeleiden ja yksivaihekaapeleiden kohdalla saattaa toisinaan tulla poikkeuksia, lähinnä tiukentavia, asennustapoihin. Nämä poikkeukset ilmoitetaan aina laiva-kohtaisessa ohjeessa.

2.6.1 Pitkien kaapeleiden asennustyön kulku yleisesti

Kärkimies eli työryhmän kokenein asentaja alkaa tehdä asennustyötä tutustumalla telakan toimittamaan vetolistaan ja kaapeleiden reitteihin rataverkostossa. Pitkien kaapeleiden asennusvaiheen nopeuttamiseksi ja helpottamiseksi kaapeliratoihin on merkitty solmupisteet reitityskaavion mukaisesti paikoihin rataverkoston valmiutta tarkastettaessa. Hyvänä käytäntönä pitkien kaapeleiden asennuksessa on aloittaa asennukset vetolistan

fyysisesti paksuimmista kaapeleista, yksivaihekaapeleista ja erityistä huomiota vaativien kaapeleiden asennuksesta radoille. Tällaiset kaapelit vaativat yleensä myös suurempaa työryhmää kuin muut kaapelit.

Poikkipinta-alaltaan suurimpien kaapeleiden ja yksivaihekaapeleiden asentaminen alkaa kaapelikelan nostolla laivan kannelle, jossa kaapelikela asetetaan kelan pyörimisen mahdollistavalle pukille. Kärkimies määrittelee radalle vedon aloituspaikan laivassa vetolistan ensimmäisen solmupisteen mukaisesti tai asennuksen aloittamisen kannalta yksinkertaisimman paikan avulla. Kaapeli vedetään kaapelikelalta rataverkostolle varmistuen, että kaapeli ei vaurioidu vetovaiheessa kaapeliratojen käännös- tai ylityskohdissa. Vaurioitumisen ehkäisemiseksi ja työn sujuvan suorittamisen varmistamiseksi asentajia tarvitaan ainakin kaapelin alkupäässä, kaapelikelan luona sekä rataverkoston varrella. Rataverkoston varrella työtä tekevän asentajan tehtävänä on varmistaa, että käännöksissä ja ylityksissä on sopiva määrä kaapelia kiinnitystä varten. Lisäksi tulee varmistaa, että kaapeli kulkee koko matkaltaan asianmukaisesti ja omalle kategorialleen tarkoitettulla osuudella kaapelirataa. Vedettyään kaapelin reitilleen kärkimies tarkastaa ja mitoittaa molemmissa päissä tarvittavan kytkentävaran laitteille, katkaisee kaapelin mittaansa ja tekee kaapelimerkinnot kaapelin molempiin päihin. Katkaisu tehdään vasta tässä vaiheessa, jotta vetolistassa mahdollisesti olevat virheet kaapelin pituudessa saadaan minimoitua ja materiaalia säästettyä. Lopuksi kaapelit kiinnitetään kaapeliradoille muovitetulla johdinlangalla. Yksivaihekaapelit kiinnitetään heti omiksi siisteiksi nipuikseen annettussa vaihejärjestyksessä määritellyn tyyppisillä nippusiteillä.

Vetolistan kaapeleista poikkipinta-alaltaan pienempien kaapeleiden asentaminen aloitetaan kaapeleiden varastointialueelta, jossa asennettavat kaapelit katkaistaan mittaansa jo ennen vetämistä radalle. Kärkimies valikoi vetolistalta kaapelit, jotka kulkevat samaa tai lähes samaa reittiä kaapelirataverkostossa ja kuuluvat samaan kategoriaan. Hyvin vetolistalta valikoidut kaapelit mahdollistavat useamman kaapelin samanaikaisen vetämisen radalle. Asennettavien kaapeleiden pituus katsotaan vetolistalta. Kaapelimerkinnot kirjoitetaan kuhunkin kaapeliin yleensä ennen vetämistä radalle. Radalle vedon jälkeen kaapelit kiinnitetään kaapelirataan käyttäen muovitettua johdinlankaa ja kytkentävarat jätetään siististi roikkumaan kytkettävien laitteiden läheisyyteen. Poikkipinta-alaltaan pienempien kaapeleiden vetämisessä radalle voidaan hyödyntää muun muassa taljoja, jolloin työryhmän kokoa voidaan pienentää.

2.6.2 Luokituslaitoksien vaatimukset kaapeloinnille

Luokituslaitoksien tehtävänä on pääsääntöisesti tarkastaa, että valmistuva laiva on turvallinen käyttää ja niin sanotusti luokitaa alus. Luokituksen tasolla ilmaistaan, kuinka hyvin alus täyttää luokituslaitoksen vaatimukset. Luokituslaitosten vaatimukset perustuvat sähkötekniseltä osuudeltaan IEC 60092 -standardisarjaan ja IMO-säännöksiin sekä näihin tehdyistä luokituslaitoskohtaisista tarkennuksista.

Kaapeloinnin kannalta luokituslaitokset tarkastavat, että kaapelityypit ovat kussakin tapauksessa oikeanlaisia ja kaapeleiden asennus on tehty asianmukaisesti ennen kaapeloidun järjestelmän käyttöönottoa. Asennusten vaatimusten lisääntyminen luvussa 2.6 esitettyihin normaaleihin käytäntöihin määrittyvät laivan käyttötarkoituksen ja rakennettavaa laivaa luokittavan luokituslaitoksen mukaan.

3 Kaapeleiden esikatkaisu

Kaapeleiden esikatkaisulla tarkoitetaan lyhykäisyydessään kaapeleiden katkaisemista ennen asennustyön aloittamista, jolloin työvaihe poistetaan kokonaan kaapeleiden asennustyöstä.

Laivassa suurin osa kaapeleista asennetaan kaapeliradoille. Kaapeleiden keskimääräisten pituuksien ollessa verrattain lyhyitä, mahdollistaa valmiiksi mitaan katkaistujen kaapeleiden käyttäminen työn teon tehostamisen. Kaapeleita on mahdollista vetää ja kiinnittää radalle useita samanaikaisesti vetolistalla annetun reitin mukaisesti.

Esikatkaisu on mahdollista ulkoistaa telakan ulkopuoliselle toimijalle tai käyttää mahdollisuuksien ja työtilanteen mukaan telakan omia asentajia esikatkaisun suorittamiseen. Tässä työssä lähtökohtana on kaapeleiden esikatkaisun ulkoistaminen.

Välijännitekaapelit esikatkastaan kaapeleiden varastointialueella tällä telakalla lähes aina. Välijännitekaapelit ovat poikkipinta-alaltaan suurimpia kaapeleita, joita laivoissa käytetään. Esikatkaisun yhteydessä tehdään kaapelin toiseen päähän välijännitekaapelipääte valmiiksi. Toinen pääte tehdään kytkentäpaikalla, jolloin kaapeli saadaan asettumaan kytkentäpisteeseensä parhaiten. Kaapelipääteen tekeminen varastointialueella on huomattavasti nopeampaa kuin pääteen tekeminen esimerkiksi generaattorin ahtaan

kytkentäkotelon sisällä. Päätteiden tekemisen vuoksi tässä työssä ei ole tutkittu välilyöntikaapeleiden hankintaa esikatkaistuina.

3.1 Esikatkaaisuun vaadittavat lähtötiedot

Kaapeleiden esikatkaistua varten tärkeimmät tarvittavat lähtötiedot saadaan vetolistalta, jossa oleelliset tiedot esikatkaistun suorittajalle ovat kaapelin pituus ja kaapelitunnus. Kaapelin pituuden määrittäminen nojaa vahvasti reitittäjältä ja reititysohjelmistosta saataviin tietoihin. Mikäli reitityksestä saatava kaapelin mitta on liian lyhyt, joudutaan esikatkaistuja kaapeleita käytettäessä laitteiden välille asentamaan uusi kaapeli tai suunnittelemaan vaihtoehtoinen reitti työkohteessa, jotta kaapelin mitta riittää laitteiden välille. Tämä lisää asennusvaiheessa tehtävää työtä huomattavasti. Selvästi liian pitkäksi vetolistalla ilmoitettu kaapeli taas lisää kytkennän jälkeen jäävän hukkamateriaalin määrää kohtuuttomasti.

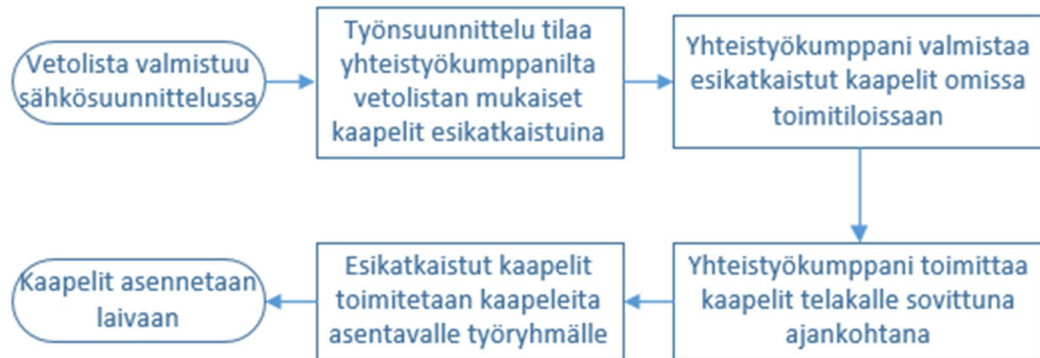
3.2 Yhteistyökumppanin käyttö kaapeleiden esikatkaistamiseen

Alihankinnalla tarkoitetaan yritysten välistä yhteistyötä, jossa esimerkiksi suurempaa kokonaisuutta valmistava yritys ostaa toiselta yritykseltä kokonaisuuteensa liittyviä osia tai palveluita. Telakoilla onkin tyypillisesti suuret toimittaja- eli alihankintaverkostot.

Useat kaapelintoimittajat tarjoavat lisäpalveluna kaapeleiden esikatkaistua tilaajan ilmoittamaan mittaan. Tässä työssä tutkittiin telakan nykyisen logistiikkayhteistyökumppanin käyttöä esikatkaistamiseen. Valintaan vaikutti muun muassa mahdollisuus hyödyntää olemassa olevaa logistiikkaketjua, sähköisen tilaustavan valmius, toimijan ymmärrys telakan toimintatavasta ja toimijan oma halu kehittää osaltaan nykyistä kaapeleiden toimitusprosessia sekä omaa osuuttaan telakan toimittajaverkostossa.

Riittävän tarkka ja ajallaan tuotettu suunnittelumateriaali mahdollistaa alihankinnan toimimisen telakan laatuvaatimusten ja toimitusaikataulun mukaisesti. Kaapeleiden esikatkaistua tekevä yhteistyökumppani tarvitsee mittauksiin, merkintöihin ja kuljetuksiin aikaa noin kolme viikkoa. Telakan kannalta tämä tarkoittaa käytännössä sitä, että esikatkaistun tarvittava suunnittelumateriaali on oltava valmiina toimitettavaksi yhteistyökumppa-

nille noin kuukautta ennen tuotannon tarvepäivää esikatkaistuille kaapeleille. Suunnitelmamateriaalin tulisi olla mahdollisimman virheetöntä, jotta vältetään ylimääräisiltä kuluilta hankintavaiheessa.



Kuva 3. Yksinkertaistettu vuokaavio esikatkaistujen kaapeleiden käytöstä.

Yhteistyökumppanilla on käytössään kaapeleiden esikatkaisua varten mittauslaitteita, jotka valmistavat kaapeleista siistejä vyyhtejä. Laitteilla voidaan tehdä mittauksia kaapeleille, jotka ovat poikkipinta-alaltaan enintään noin 105 mm² tai vastaava. Yrityksellä on myös lisäksi käytössään poikkipinta-alaltaan suurille kaapeleille, kuten maakaapeleille, tarkoitettu mittauslaite. [8.] Laitteistojen käyttöön vaikuttaa myös mitattavien kaapeleiden suojavaipan materiaali ja johtimien muoto sekä rakenne. Hienosäikeinen yksivaihekaapeli on joustavampaa ja helpommin käsiteltävää esikatkaisua tehtäessä kuin poikkipinta-alaltaan vastaavat muutama kolmivaiheiset sektorikaapelit.



Kuva 4. Yhteistyökumppanin käyttämä laitteisto esikatkaistujen kaapeleiden valmistamiseen. Vyyhti valmistuu kuvassa näkyvälle siniselle kelalle sähkömoottorivetoisesti. Mittaus tapahtuu kuvassa pukin päällä näkyvällä keltaisella kierroslukumittarilla.

Pakattaessa vyyhdet kuljetusta varten voidaan jokaiseen lavaan lisätä tietoja koskien vetolistaa. Tällä helpotetaan huomattavasti kaapeleita asentavan työryhmän työskentelyä telakalla.

Yhteistyökumppanilla on valmiudet tehdä esikatkaistuja kaapeleita myös kaapelikeloille, jolloin vetolistan ensimmäisen mitatun ja tunnuksellisen kaapelin perään sidotaan seuraava kaapeli ja tätä jatkaen täytetään koko kela. Kaapelit voivat olla erityyppisiä ja erikokoisia. [8.] Tämän telakan toimintatapaan tämän tyyppinen esikatkaisun toteuttaminen ei sovellu kovin hyvin asennusteknisten seikkojen vuoksi. Tällöin työryhmät pakotettaisiin lisäksi noudattamaan kaapeleiden asennuksessa kaapeleiden järjestystä kelalla.

4 Kaapeloinnin kustannusten muodostuminen

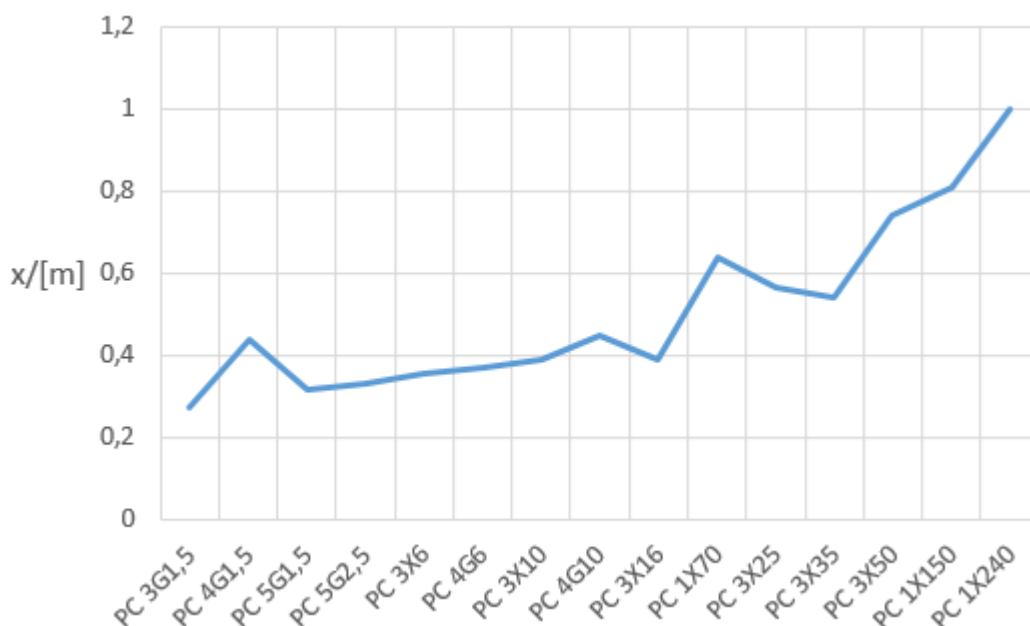
Kaapelointityön kustannukset muodostuvat käytettyjen materiaalien ja työkustannusten mukaan. Lisäksi kustannuksia tulee muun muassa läpivientien pakkaamisesta, viimeistelyvaiheessa kaapeleiden sitomisesta, kaapelipäätteiden tekemisestä ja mahdollisesta putkitustyöstä. Näistä työvaiheista ja niihin tarvittavista materiaaleista syntyviä kustannuksia ei käsitellä tässä työssä, sillä esikatkaistujen kaapeleiden käyttö kaapeloinnissa ei vaikuta niihin.

4.1 Työkustannusten muodostuminen

Tässä insinöörityössä työkustannusten muodostumista on käsitelty vain näkökulmasta, jossa telakka hankkii kaikki pitkien kaapeleiden asennukset yhteistyökumppaneilta. Tällöin kaapeleiden asennustyön kustannukset telakalle lasketaan asennettujen metrien ja kaapelityyppien mukaan. Telakan omien sähköasentajien kaapeleiden asennuksesta tulevat kustannukset muodostuvat työhön käytettyjen tuntien mukaan.

Kaapeleita asentavat yhteistyökumppanit erittelevät tarjouksissaan jokaiselle laivaprojektissa käytettävälle kaapelityypille hinnan euroissa metriä kohden. Seuraavassa kuvaajassa on esitetty erään laivaprojektin kohdalla kaapeleiden asennuksen hinnan nousun suhde kaapelin poikkipinta-alaan alihankkijoiden antamien tarjousten keskiarvojen

perusteella. Arvot on laskettu yhden kaapelityypin kohdalla poikkipinta-alaltaan suurimman kaapelin suhteen, kun tämän kaapelin asennushinnan katsotaan olevan yksi yksikkö metriä kohden.



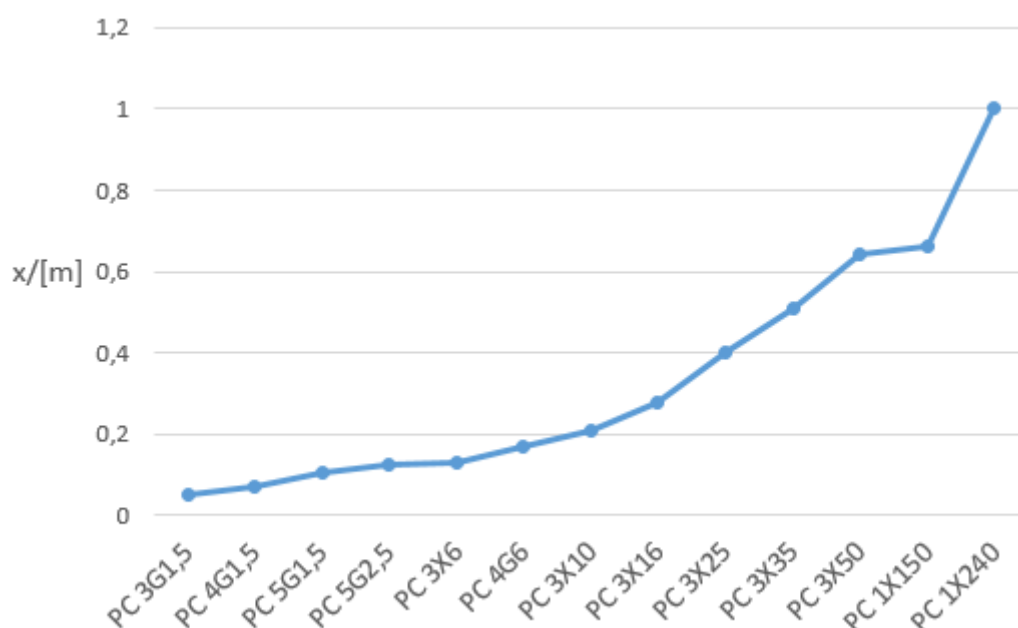
Kuva 5. Esimerkki kaapelin asennuksen hinnan noususta suhteessa kaapelin poikkipinta-alaan.

Kuvaajasta nähdään, että asennuskustannukset eivät nouse täysin lineaarisesti poikkipinta-alan mukaan. Asennushinnat muodostuvatkin tyypillisesti yhteistyökumppanin omien asennuskokemusten ja kaapelityyppien arvioidun menekin perusteella. Yksivaihekaapeleiden suhteellisesti korkeampi asennushinta johtuu siitä, että viimeistelyvaiheen sitominen tehdään välittömästi radalle vedon jälkeen. Viimeistelyvaiheen sitominen vie selvästi enemmän aikaa kuin työaikainen sitominen. Yksivaihekaapeleita lukuun ottamatta kaapeleiden viimeistelyvaiheen sitominen radalle on oma työvaiheensa, joka suoritetaan erillään tässä työssä käsiteltävästä kaapeleiden asennustyöstä.

4.2 Materiaalikustannusten muodostuminen

Materiaalikustannuksien selvittämiseksi käytettiin telakan erään kaapelitoimittajan antamia hintoja kaapeleille, jotka saatiin telakan hankinnasta.

Suurin osa materiaalikustannuksista tulee käytetyistä kaapeleista. Kaapeleiden hinta telakalle muodostuu kaapelitoimittajan kaapelista tarjoamista hinnoista. Hinnat muodostuvat pääosin kuparin arvon ja kaapelin valmistuskustannusten perusteella. Valmistuskustannuksiin vaikuttaa jo itsessään kuparin arvo sekä suojavaipan rakenne. Luonnollisesti poikkipinta-alaltaan suuremmat kaapelit sisältävät enemmän kuparia, joka nostaa kaapelin hintaa. Seuraavassa kuvaajassa esitetyt arvot on laskettu poikkipinta-alaltaan suurimman kaapelin suhteen, kun tämän ostohinnan katsotaan olevan yksi yksikkö metriä kohden.



Kuva 6. Esimerkki kaapeleiden hinnan noususta poikkipinta-alan suhteen.

Kuvaajasta voidaan huomata, että kaapelitoimittajan tarjoamat kaapeleiden ostohinnat nousevat hyvin tarkkaan kaapeleiden sisältämän kuparimäärän mukaisesti.

Esikatkaistuja kaapeleita käytettäessä suorat kustannukset kaapeleiden kohdalla nousevat yhteistyökumppanin ottaman hinnan mukaisesti. Yhteistyökumppanin hinta tätä työtä tehtäessä on kiinteä ja muodostuu katkaisusta sekä kaapeliin lisättävistä merkinnöistä. [8.]

5 Pitkien kaapeleiden asennustyön vertailu

Tutkimuksessa selvitettiin pitkien kaapeleiden asennukseen kuuluvia työvaiheita, jotka toistuvat samanlaisina tai lähes samanlaisina jokaisen asennettavan kaapelin kohdalla. Tarkoituksena oli tutkia asennustyöstä saatavia mahdollisia kustannussäästöjä käytettäessä esikatkaistuja kaapeleita. Pitkien kaapeleiden asennuksiin kuuluvien työvaiheiden ja asennustyön ajankäytön jakautumien selvittämiseksi seurattiin työhön erikoistuneiden alihankkijoiden työskentelyä telakalla rakenteilla olevassa jäänmurtajassa.

Kaapeleiden asennusreitit, kaapelityypit sekä mahdolliset laivakohtaiset asennusmääräykset tuovat mukanaan luonnollisesti työvaiheita, joiden vertailu on hyvin hankalaa. Tämän vuoksi vertailussa on huomioitu vain asennusteknisesti oleelliset työvaiheet, eikä esimerkiksi läpivientien pakkaamista täyttöasteen mukaisesti sopivin väliajoin.

Tutkimusta varten alihankkijoille annettu vetolista jaettiin kolmeen osaan. Vetolista valittiin rakenteilla olevan jäänmurtajan reitityksen edistymisen perusteella. Ensimmäiseen osaan sijoitettiin vetolistan paksuimmat kaapelit ja yksivaihekaapelit, jotka kaikki vedettiin suoraan kaapelikelalta. Toiseen osaan sijoitettiin telakan perinteisen asennustavan vertailuryhmään käytettävät kaapelit ja kolmanteen osaan esikatkaistut kaapelit. Toisen ja kolmannen vetolistan osista tehtiin mahdollisimman yhdenmukaiset. Samalla pyrittiin sisällyttämään sama määrä samanlaisia kaapelityyppejä kummassakin vetolistan jälkimmäisessä osassa. Kaapeleiden vetoreitit pyrittiin pitämään mahdollisimman samanlaisina kaikissa vetolistan osissa. Tutkimuksessa asennuksia tehneen työryhmän koko oli 2-3 sähköasentajaa riippuen asennettavien kaapeleiden reitistä ja kaapeleiden fyysisestä koosta. Vertailukelpoisuuden lisäämiseksi kärkimiehenä oli koko tutkimuksen ajan sama henkilö, ja kaikki asennustyöt tehtiin samalla alueella valmistuvassa jäänmurtajassa.

Poikkipinta-alaltaan vetolistan suurimmat kaapelit ja yksivaihekaapelit eriytettiin omaksi osiokseen. Näiden kaapeleiden kohdalla esikatkaisua yritettiin, mutta yritys kariutui jo alkumetreillä. Syynä oli tehtyjen vyyhtien suuri paino ja niiden siirtelyyn tarvittava työvoiman määrä. Yksivaihekaapeleiden kohdalla tehtävä viimeistelyvaiheen sitominen radalle asennusvaiheessa ei ole lisäksi vertailukelpoista työaikaisen sitomisen kanssa. Eroavan asennustavan ja muutoinkin haasteellisen hyödyntämisen vuoksi poikkipinta-alaltaan suurien kaapeleiden ja yksivaihekaapeleiden kohdalla ei vertailtu asennusta käyttäen esikatkaistuja kaapeleita.

Tässä työssä esitellään vain tutkimuksen lopputuloksen kannalta oleellinen mittaustieto. Muu mittaustieto jää insinööriyön toimeksiantajan käytettäväksi.

Taulukko 3. Tutkimuksessa käytetyn vetolistan jako osiin.

Vetolistan osio	Kaapeleita [kpl]	Yhteispituus [m]	Keskimääräinen pituus [m]
Paksut kaapelit	22	528	24
Perinteiset kaapelit	34	1267	37,3
Esikatkaistut kaapelit	34	1254	36,9

Vertailuryhmien asennustyöt aloitettiin alkuperäisen vetolistan poikkipinta-alaltaan suurimmista kaapeleista ja yksivaihekaapeleista, jolloin kaapeleita asentanut työryhmä pääsi hyvin tutustumaan kaapeleiden vetoreitteihin ja asennusalueeseen ennen tutkimuksen kannalta tärkeimpien vetolistan osioiden kaapeleiden asentamista.

5.1 Asennustyön vertailun tulokset

Työryhmän työskentelyä seurattaessa otettiin aikaa kuhunkin asennustyöhön kuuluvaan työvaiheeseen kuluneista ajoista. Työvaiheisiin käytettyjen aikojen summasta saadaan kaapeleiden asennuksiin käytetyt kokonaisajat.

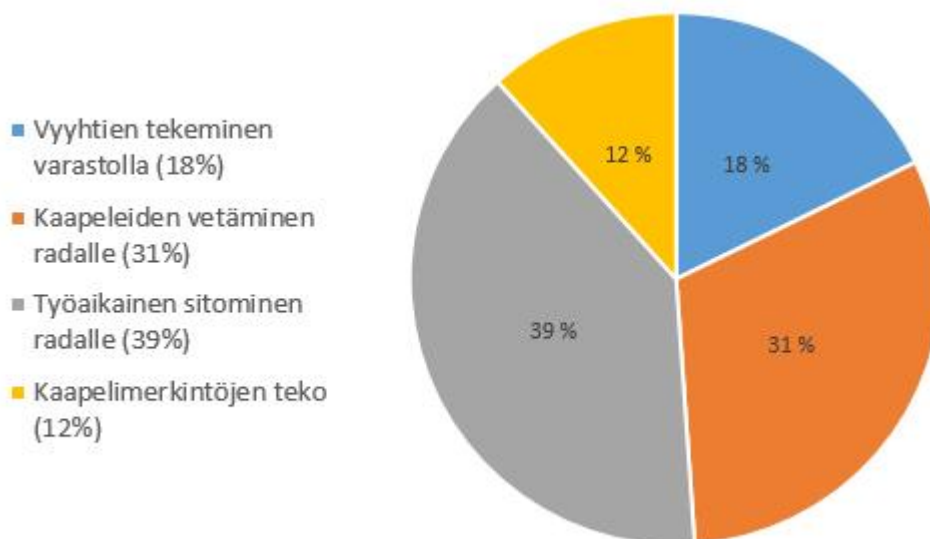
Taulukko 4. Vertailuryhmien kaapeleiden asennuksiin käytetyt kokonaisajat.

Vetolistan osiot	Asennustyöhön käytetty aika [min]
Perinteiset kaapelit	675
Esikatkaistut kaapelit	455

Taulukosta 4 nähdään, että kokonaisuudessaan säästää työajassa, kyseisen työryhmän kohdalla, saatiin noin 220 minuuttia eli 32,6 % käytettäessä esikatkaistuja kaapeleita.

5.1.1 Kaapeleiden asentaminen telakan perinteisellä tavalla

Keskimäärin yhden kaapelin asennukseen kului noin 20 minuuttia keskimääräisen asennusnopeuden ollessa noin 1,9 metriä minuutissa. Mittauksissa yksittäisen kaapelin pituus oli keskimäärin noin 37,3 metriä, joka vastasi hyvin vertailukohteena olleen jäänmurtajan mittausten suorittamiseen mennessä reititettyjen kaapeleiden keskipituutta sekä aiempien samankaltaisten laivaprojektien reititettyjen kaapeleiden keskipituuksia.

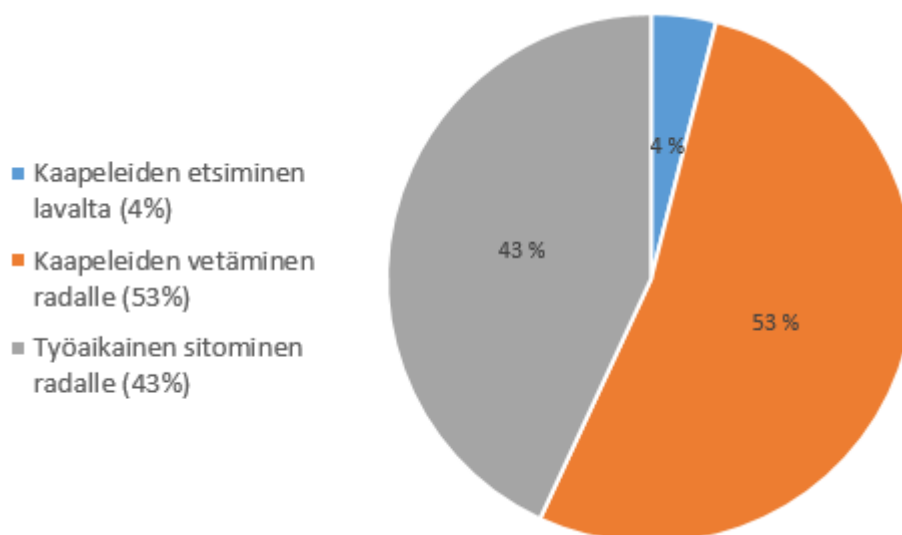


Kuva 7. Ajankäytön jakautuminen "perinteisen" vertailuryhmän kaapeleilla.

Kaapelit asennettiin luvussa 3.1 esitetyllä tavalla. Kuvasta 7 voidaan huomata, että kaapelin vetäminen radalle muodostaa tällä hetkellä vain noin kolmasosan koko kaapelin asennukseen kuluva ajasta. Tästä huolimatta kaapeleiden vetämisestä puhuttaessa tarkoitetaan usein kaapeleiden asennustyötä kokonaisuudessaan.

5.1.2 Kaapeleiden asentaminen käyttäen esikatkaistuja kaapeleita

Vertailussa käytetyn vetolistan osion esikatkaistujen kaapeleiden keskimääräinen asennusaika oli noin 13 minuuttia. Kaapeleiden asennuksen keskimääräinen nopeus oli vertailussa noin 2,8 metriä minuutissa ja kaapeleiden keskimääräinen pituus noin 36,8 metriä, joka on hyvin lähellä perinteisellä tavalla asennettujen kaapeleiden keskimittaa.



Kuva 8. Ajankäytön jakautuminen käytettäessä esikatkaistuja kaapeleita kaapeleiden asennuksessa.

Kuvasta 8 voidaan huomata, että esikatkaistujen kaapeleiden käyttäminen vaikuttaa selvästi kaapeleiden asennuksen ajankäytön jakaumaan. Käytettäessä esikatkaistuja kaapeleita poistuu kaksi työvaihetta kokonaisuudessaan asennustyöstä. Esikatkaistuja kaapeleita käytettäessä ovat kaapelimerkinnot valmiina kaapeleissa ja lisäksi kaapelit ovat tietenkin jo valmiina katkaistuina asentajille. Aiemmin nämä työvaiheet muodostivat noin kolmanneksen koko asennusaikaan käytettävästä ajasta. Voidaankin huomata, että suurin osa ajankäytössä saadusta säästöstä tulee juuri näiden työvaiheiden poistuman kautta. Toisaalta, uutena työvaiheena, kaapeleiden etsiminen lavalta vei pienen osan säästetystä ajasta. Hyvillä toimintatavoilla, useidenkin lavojen käsittelyssä, on mahdollista pitää tähän kuluva aika kuitenkin kokonaisuudessaan pienenä. Esikatkaisun suorittavan yhteistyökumppanin kanssa voidaan sopia kaapelivyyhtien pakkaamisjärjestyksestä ja lisämerkinnöistä.

Ajankäytöllistä säästöä saatiin huomattavasti myös kaapelivyyhdet sisältävän lavan sijoittelulla työryhmän työskentelyn kannalta edulliseen paikkaan. Asennettavien kaapeleiden noutoon kaapeleiden varastointipaikalta käytetystä ajasta poistui oleellisesti merkittävä osuus. Tämä aika pystyttiinkin käyttämään tehokkaasti varsinaiseen asennustyöhön.

5.2 Esikatkaistujen kaapeleiden käytön vaikutukset

Esikatkaistujen kaapeleiden käytöstä laivan kaapelointiprosessin kehittämiseen seuraavat vaikutukset voidaan jakaa käytöstä saataviin hyötyihin ja käyttöönottamiseen liittyvistä haasteista, jotka tulee ennen esikatkaistujen kaapeleiden käyttöönottoa selvittää ja ratkaista esikatkaisusta saatavien hyötyjen maksimoimiseksi.

5.2.1 Käytöstä saatavat hyödyt

Käytettäessä esikatkaistuja kaapeleita pitkien kaapeleiden asennuksessa saadaan asennustyöhön käytettyä aikaa vähennettyä selvästi, jonka voidaan olettaa vaikuttavan pitkiä kaapeleita asentavien alihankkijoiden tarjouksiin kaapeleiden asennuksista. Esikatkaistuja kaapeleita käytettäessä päästiin asennuksessa hyödyntämään paremmin vetotapaa, jossa vedetään useaa kaapelia samanaikaisesti. Kaapeleiden asennuksessa säästetty aika pystytään hyödyntämään seuraavaan työvaiheeseen, joka lyhentää pitkien kaapeleiden asennuksen läpimenoaikaa. Työryhmän tehdessä itse kaapeleiden katkaisut kaapeleiden varastointialueella, kärke miehen päätöksiin vetolistalta vedettäviin kaapeleihin vaikuttaa reitin lisäksi suuresti kaapelin tyyppi ja kategoria. Samalta kelalta on yksikertaista tehdä useampi vyyhti asentamista varten ja samaa kategoriaa olevat kaapelit vedetään radalle yhteen nippuun. Esikatkaistuja kaapeleita käytettäessä kaapelin tyyppin vaikutus vähenee, sillä kaikki hyödyntämiskelpoiset kaapelit ovat tyyppistä riippumatta jo valmiina vyyhteinä.

Telakan perinteistä kaapeleiden asennustapaa käytettäessä kaapeleita asentavat työryhmät lisäävät vetolistalla annettuun kaapelin pituuteen toisinaan varmuusvaran, jottei kaapeli jäisi missään tilanteessa lyhyeksi kytkennän kannalta. Tällaisten varmuusvarojen lisääminen kaapelin mittaan aiheuttaa ylimääräistä materiaalihävikkiä. Esikatkaistujen kaapeleiden pituus määräytyy täsmälleen vetolistalla annetun mitan mukaan, joka saadaan reititysohjelmistosta ja reitittäjältä.

Tilattaessa esikatkaistut kaapelit yhteistyökumppanilta työaikaiset kaapelimerkinnot lisätään kaapeleiden molempiin päihin yhteistyökumppanin toimesta. Työaikaiset kaapelimerkinnot tehdään tällä hetkellä telakalla yleensä tussilla, jolloin merkintää voi olla hankala lukea. Yhteistyökumppanin käyttää merkinnöissä tarroja, jotka suojataan kirkkaalla teipillä kestävyuden lisäämiseksi. Laitteiden kytkentöjä tehtäessä on tulostetuista tarroista helppo lukea yksiselitteisesti, mikä kaapeli on kyseessä. Valmiit kaapelimerkinnot

poissulkevat myös inhimillisten virheiden mahdollisuuden, joka on olemassa merkintöjä tussilla tehtäessä.

Helsingin telakalla kaapelit hankitaan tällä hetkellä sähkösuunnittelumateriaalin ja aiemmista laivaprojekteista saadun kokemuksen perusteella arvioidun kaapeleiden menekin mukaisesti kaapelityypeittäin. Kaapelit toimitetaan täysinä kaapelikeloina telakalle, poikkeuksena kaapelityypit, joiden arvioitu menekki on huomattavan vähäinen. Laivan kaapeloinnin valmistuttua keloille jääneet kaapelit siirretään, inventaarion ja kirjanpidon kannalta, niin kutsuttuun kaapelirekisteriin. Rekisteristä nähdään suoraan kuinka paljon telakalla on tällä hetkellä kaapeleita varastossa ja sieltä voidaan ottaa materiaalia käyttöön seuraavan laivan kaapelointia varten. Kaapelityyppien runsaan lukumäärän ja kaapeleiden suuren menekin vuoksi kaapelirekisterissä onkin paljon pääomaa kiinni. Lisäksi kirjanpidollisesti tällaisen rekisterin ylläpitäminen tuo kustannuksia telakalle. Esikatkaistuja kaapeleita käytettäessä saadaan kaapelirekisterin fyysistä kokoa ja kirjanpidollista arvoa pienennettyä mahdollisesti huomattavastikin.

5.2.2 Käyttöönottoon liittyvät haasteet

Suurin haaste esikatkaistujen kaapeleiden käyttöönotossa on sähkösuunnittelumateriaalin, erityisesti vetolistojen, paikkansa pitävyys. Usein järjestelmien suunnittelun edessä huomataan esimerkiksi laitesijoitteluita tarkastettaessa, että jokin laite ei mahdu olemaan sille alun perin määritellyssä paikassa. Tämä johtaa laitteen siirtoon tilajärjestelypiirustuksessa ja pahimmassa tapauksessa kaapelin pituuden muutokseen. Pituuden muutos aiheuttaa hävikin lisääntymisen. Mikäli laitteen sijoittelun muutos johtaa kaapelin pituuden kasvamiseen, saattaa eteen tulla tilanne, jossa esikatkaistu kaapeli ei riitä laitteiden välille. Tällöin joudutaan asentamaan uusi kaapeli laitteiden välille tai kehittämään vaihtoehtoinen reitti kaapelille tuotannossa. Esikatkaisusta saatavasta tuotantovaiheen hyödystä häviää tällöin pahimmassa tapauksessa merkittävä osuus. Annettaessa veto-lista tuotannolle tulisikin varmistua siitä, että laitteiden sijoituksiin ei tule enää muutoksia. Sijoitteluiden muutoksista aiheutuvia tekijöitä voidaan myös pienentää kaapeleita reititettäessä lisäämällä kytkentävaraa järkevästi.

Vetolistojen tarkkuuteen vaikuttaa myös kaapelirataverkostoon mahdollisesti tulevat muutokset. Tyypillisesti muutokset johtuvat järjestelmien yhteentörmäyksistä tuotannossa eli esimerkiksi ilmanvaihtokanava ja kaapelirata ovat samassa korossa piirustuksissa. Toisinaan törmäykset muodostuvat usean tekijän summana. Esimerkiksi ensin

siirretään ilmanvaihtokonetta, joka johtaa ilmanvaihtokanavan siirtymiseen ja lopulta kaapeliradan siirtymiseen. Kaapeliratojen siirtyminen saattaa aiheuttaa suuriakin ongelmia vetolistojen tarkkuuden kannalta, sillä reititysohjelma laskee kaapeleiden pituuden kaapelirataverkostolle määriteltujen solmupisteiden avulla. Valmistussuunnittelupiirustuksia tehtäessä suunnittelijoiden tulee ottaa tarkasti huomioon kaikkien järjestelmien vaatiman tilan kullakin alueella.

Kaapeleiden reitittämisestä tuotannon aloittamiseen kuluva aika on verrattain lyhyt ja toisinaan reitittämistä tehdään tuotannon töiden edetessä lähes samaa tahtia. Esikatkaistujen kaapeleiden tilaaminen yhteistyökumppanilta vaatii käytännössä vetolistan valmistusta noin kuukautta ennen tuotannon tarvepäivää, jotta kaapeleiden asennustyöt etenevät jatkuvasti telakalla. Reitittämisen aloittamiseen vaikuttaa järjestelmäpiirustusten valmistuminen. Järjestelmäpiirustukset tulisi olla huomattavasti nykyistä aiemmin valmiina reitittämiseen ja niiden tulee olla mahdollisimman virheettömiä. Vetolistojen kaapelimäärää pienentämällä ja näin ollen vetolistojen lukumäärää suurentamalla tai jakamalla vetolistoja osiin on mahdollista kompensoida järjestelmäpiirustusten valmistusta. Pienempiä vetolistoja on nopeampi reitittää, jolloin niitä voidaan antaa tuotantoonkin nopeammin.

6 Hyödyntämiskohteet

Kaapeleiden esikatkaaisuun soveltuvat kaapelit määräytyvät käytännössä poikkipinta-alan mukaan. Tässä insinööriyössä lähtökohtana esikatkaistujen kaapeleiden käytölle on ollut niiden valmistamisen ulkoistaminen kaapeleiden mittauksia tekevälle yhteistyökumppanille. Kuten aiemmin mainittu, kaapeleiden mittauksia tekevällä yhteistyökumppanilla on käytössään kaksi erikokoista mittauslaitteistoa, jotka on tarkoitettu poikkipinta-alaltaan erikokoisille kaapeleille. Asennustavan valinnan kannalta erot poikkipinta-alojen kohdalla ovat hieman tapauskohtaisia, mutta pääsääntöisesti voidaan todeta poikkipinta-alaltaan yhteensä yli 100 mm² kaapeleiden lukeutuvan asennustavaltaan niin sanottuihin paksuihin kaapeleihin. Näiden kohdalla esikatkaistun hyödyntämisestä saatavat hyödyt eivät ole yhtä suuria kuin poikkipinta-alaltaan pienemmillä kaapeleilla. Asentamisesta tulee haastavaa vyyhtien suuren painon ja käsiteltävyyden vaikeuden vuoksi. Kuten aiemmin mainittu, yksivaihekaapeleiden kohdalla asennustapa taasen poikkeaa muista kaapeleista vaihejärjestyksen ylläpitämisen vuoksi. Paksut kaapelit ja yksivaihekaapelit

muodostavat yleensä kuitenkin vain pienen osan Helsingin telakalla rakennettavissa laivoissa käytettävien kaapeleiden kokonaismäärästä. Vertailussa käytetyllä vetolistalla nämä muodostivat vain noin yhden viidesosan kokonaismäärästä ja esimerkiksi laivan NB-508 kaapeloinnissa poikkipinta-alaltaan yhteensä yli 100 mm² kaapeleita ja yksivaihekaapeleita käytettiin vain noin 17,9 % kaapeleiden kokonaismäärästä.

Esikatkaistujen kaapeleita pystytään Helsingin telakalla parhaiten hyödyntämään pitkien kaapeleiden asennuksissa vetolistoissa, jotka sisältävät paljon yhdensuuntaisesti reititettyjä kaapeleita. Tällöin saadaan suurin hyöty esikatkaisusta kaapeleiden asennustyötä tehtäessä. Luvun 2.4.1 taulukosta 1. huomattiin, että reititettävien kaapeleiden kokonaispituuksiin ja määriin vaikuttaa suuresti laivan mitat. Laivat ovat kuitenkin olleet arktisiin olosuhteisiin tarkoitettuja työaluksia, jotka sisältävät hyvin pitkälti samanlaisia pääkomponentteja. Pääkomponentit sijoittuvat yleensä samoihin kohtiin laivaa ja ne muodostavat sähkö- ja automaatioverkossa päärunгон. Tällaisia komponentteja ovat esimerkiksi laivan sähköjakelun päätaulut, ohjauspulpetit, potkurikoneistot ja navigointilaitteet. Näiden komponenttien sijoitteluiden mukaisista tiloista lähtee huomattavat määrät yhdensuuntaisesti reititettyjä kaapeleita eri puolille laivaa. Lisäämällä reitityssuunta vetolistan seurantanumeron muodostamisen tekijäksi on mahdollista muodostaa useita vetolistoja, joissa hyödyntäminen on erittäin kannattavaa. Esimerkiksi laivan NB-508-päätauluhuoneesta reititettyt kaapelit jaettiin neljään eri vetolistaan niiden reitityssuunnan mukaan. Reitityssuunnan käyttäminen tällaisissa kohteissa vetolistan jakamisessa osiin on hyvin yksinkertainen keino muodostaa esikatkaistujen kaapeleiden käyttämiseen soveltuvia vetolistoja. Tekemällä vetolistoista sellaisia, että kaikki reititettyt kaapelit kulkevat yhdensuuntaisesti alueelta toiselle, on myös helppoa tarkastaa suunnittelun onnistuminen sekä myöhemmässä vaiheessa tuotannon edellytykset työn aloittamiselle.

Helsingin telakalla viime vuosina rakennettujen laivojen mastojen kaapelointi suoritetaan ennen maston nostoa laivan päälle. Mastosta laivan sisään kulkevat kaapelit jätetään siististi roikkumaan maston alaosiin katkaistuina nippuina, josta ne ovat helposti vedettävissä laivan sisään kulkeville kaapelireiteille maston noston jälkeen. Maston kaapelointi onkin näin ollen myös hyvä kohde hyödyntää esikatkaistuja kaapeleita pitkien kaapeleiden asennuksissa.

7 Yhteenveto

Insinööriyön tarkoituksena oli tutkia ja selvittää esikatkaistujen kaapeleiden käyttömahdollisuuksia pitkien kaapeleiden asennuksissa Helsingin telakalla sekä niiden käytöstä saatavia hyötyjä. Lisäksi työssä selvitettiin esikatkaistujen kaapeleiden alihankintaa sekä niiden käyttöönottoon liittyviä haasteita telakalla rakennettavien laivojen kaapeloinnissa niin kutsuttujen pitkien kaapeleiden osalta.

Työssä tehtiin varsin kattava kuvaus kaapeleiden esikatkaaisuun liittyvistä tekijöistä ja niiden vuorovaikutussuhteista toisiinsa. Esikatkaistujen kaapeleiden laaja mittaiseen käyttöön pitkien kaapeleiden asennustyössä vaikuttaa kaapeleiden reitittämisen onnistuminen. Reitittäjä saa lähtötietonsa sähkösuunnittelun perussuunnittelu- ja valmistussuunnittelumateriaaleista, joissa mahdollisesti esiintyvät virheet siirtyvät reitityksen kautta tuotantoon mikäli niitä ei huomata ja korjata ajoissa. Tuotantoon asti siirtyneet suunnitteluvirheet supistavat esikatkaisusta saatua hyötyä. Sisäralusten kohdalla on erittäin tärkeää saada ensimmäisessä laivassa tuotannossa havaitut suunnitteluvirheet valmistussuunnittelun tietoon, jotta ne voidaan korjata seuraavaa laivaa varten.

Pitkien kaapeleiden asennustyötä verrattaessa esikatkaistujen kaapeleiden ja telakan perinteisen asennustavan välillä huomattiin esikatkaistujen kaapeleiden käytön säästävän kaapeleiden asennusajasta huomattavan osuuden. Samalla tuotantoalueella ja samoja kaapelireittejä käyttäen saatiin säästettyä 32,6 % asennukseen kuluneesta ajasta. Yhdessä tuotantovaiheessa säästetty aika on mahdollista käyttää seuraavaan tuotantovaiheeseen ja näin lyhentää koko kaapeloinnin läpimenoaikaa.

Liitteen 3 kustannuslaskelmasta huomataan, että yhteistyökumppaneiden tulee käytännössä laskea kaapeleiden asennuksista tarjoamiaan hintoja keskimäärin noin kolmanneksella esikatkaaisuun soveltuvien kaapeleiden osalta, jotta kaapeloinnin välittömät kokonaiskustannukset eivät nousisi. Tarjousten laskemisen osuus vastaa kuitenkin hyvin esikatkaisusta yhteistyökumppaneiden saamaa ajankäytöllistä hyötyä. Logistiikkayhteistyökumppanin esikatkaisusta veloittama summa ja kaapeleista muutoin tulevat materiaalikustannukset pysyivät kustannuslaskelmassa vakioina ja perustuvat työtä tehtäessä voimassa olleisiin hintoihin. Käytännössä kustannuslaskelma tulee tehdä jokaiselle vetolistalle erikseen, sillä vetolistat sisältävät toisistaan eroavat määrät metreissä, kappaleissa ja tyypeissä kaapeleita.

Kaapeleiden asennuksen vertailun tuloksia tulkittaessa on huomioitava niiden perustuvan vain pieneen osaan koko laivan kaapeleiden asennuksesta. Kaapeleita asentavia työryhmiä on myös useita, joiden välillä ajankäytössä on tietenkin pieniä eroavaisuuksia. Esikatkaisusta saatavien suuren mittakaavan kokonaishyötyjen selvittämiseen tuleekin tulevaisuudessa verrata useita laivaprojekteja kokonaisuudessaan suunnittelusta tuotantoon. Erityisesti esikatkaistujen kaapeleiden käytön vaikutus kaapeloinnissa syntyvän hukkamateriaalin määrään voidaan tarkasti todeta vasta suuren mittakaavan vertailussa. Kaapelirekisterin tosiasiallisen koon muutos ja siinä kiinni olevan pääoman määrän muutos on myös huomattavissa vasta siirryttäessä esikatkaistujen kaapeleiden käyttöön suuressa mittakaavassa. Tehtäessä kaapeleiden esikatkaisua suuremmassa mittakaavassa voitaneen lisäksi neuvotella logistiikkayhteistyökumppanin kanssa esikatkaisun hinnasta tarkemmin. Tyypillisesti tilauserien kasvaessa yksikköhinnat laskevat.

Insinööriyön tekeminen antoi kirjoittajalle hyvän käsityksen laivojen sähkövarustelun ja sähkösuunnittelun vaiheista. Työtä tehtäessä huomattiin, että suuri osa laivojen sähkösuunnittelussa ja -varustelussa tarvittavista tiedoista ja taidoista on siirtynyt työnteikijältä toiselle niin sanotusti perimätietona. Tämä aiheutti insinööriyötä tehtäessä toisinaan suuriakin haasteita. Insinööriyön toimeksiantaja pystyy käyttämään työtä pohjana siirtyessään mahdollisesti käyttämään esikatkaistuja kaapeleita sekä hyödyntämään asennustyön vertailun tuloksia apuna tehdessään tarjouskyselyitä kaapeleiden asennuksesta tulevaisuudessa rakennettavissa laivoissa.

Lähteet

- 1 Yritysesittely. 2015. Verkkodokumentti. Arctech Helsinki Shipyard Oy. <<http://arctech.fi/fi/about-us/>>. Luettu 27.10.2015.
- 2 Ryynänen, Unto. 7.6.2011. Sähkösuunnittelun yleiset ohjeet. Q.HKI.C.S.901 ei yleisesti saatavilla. Luettu 19.11.2015.
- 3 Kaapelireitityksen yleiset ohjeet. 1.2.2003. Q.CS.KMY.037 ei yleisesti saatavilla. Luettu 19.11.2015.
- 4 Aalto, Veijo. 2015. Senior Designer, Arctech Helsinki Shipyard Oy, Helsinki. Keskustelu 23.10.2015.
- 5 Melotindos, Mari. 9.8.2013. Kaapelointi ja sähköasennukset. Q.HKI.C.V.031 ei yleisesti saatavilla. Luettu 20.11.2015.
- 6 Haapala Teemu, 2015. Sähkösuunnittelija. Raumatiimi Yrityspalvelu Osuuskunta. Keskustelu 6.11.2015.
- 7 IEC 60092: Electrical installations in ships - Part 352: Choice and installation of electrical cables. 3. painos, 2005. Luettu 20.11.2015.
- 8 Westermarck, Karri, 2015. Area Manager, Marine. Rexel Finland Oy. Keskustelu 24.11.2015
- 9 Tuotteet. 2015. Verkkodokumentti. Roxtec Oy. <<http://www.roxtec.com/en/products/>>. Luettu 22.12.2015

Vetolista

Pot n°	Class	Name	Cable Type	L[m]	Drw	Equip 1	Start	Equip1 Pos	Equip 2	End L	Equip2 Pos	Route NODES--	IN
K34	H	6222-SI03	TA2P0.75	24	D.510.9311.906.310_C	/9311AS04	7	34-3-89-P1	/6222PCU3	5	35-3-103-S3	34/14, 34/11, 34/13, 34/15, 35/3, 35/5, 35/7	
K34	V	6222UOB1-AIU3	PN3G2.5	30	D.510.6221.906.109_B	/6222UOB1	7	34-3-82-S4	/6359AIU3	8	35-3-99-S3	3413, 3415, 3417, 3409, 3517	
K34	H	6351.031-4	TA4P0.75	30	D.510.9311.906.317_A	/9311AS03	8	34-3-89-S1	/6351.031K	8	35-3-100-S8	3403, 3405, 3407, 3409, 3501	E
K34	H	6351.032-4	TA4P0.75	37	D.510.9311.906.317_A	/9311AS04	8	34-3-89-P1	/6351.032K	10	35-3-99-S9	34/14, 34/16, 34/18, 34/15, 3511, 3501	E
K34	H	6351.033-4	TA4P0.75	31	D.510.9311.906.317_A	/9311AS03	8	34-3-89-S1	/6351.033K	9	35-3-99-S10	3403, 3405, 3407, 3409, 3501	E
K34	H	6351.034-4	TA4P0.75	36	D.510.9311.906.317_A	/9311AS04	8	34-3-89-P1	/6351.034K	10	35-3-100-S8	34/14, 3405, 3407, 3409, 3501	E
K34	H	6351.035-4	TA4P0.75	30	D.510.9311.906.317_A	/9311AS03	8	34-3-89-S1	/6351.035K	8	35-3-100-S10	3403, 3405, 3407, 3409, 3501	E
K34	H	6351.036-4	TA4P0.75	36	D.510.9311.906.317_A	/9311AS04	8	34-3-89-P1	/6351.036K	10	35-3-100-S9	34/14, 3405, 3407, 3409, 3501	
K34	H	6351CAU3.1-4	TA4P0.75	33	D.510.9311.906.317_A	/9311AS03	8	34-3-89-S1	/6351CAU3.1K	8	35-3-106-P2	3405, 3407, 3517, 3507, 3506	
K34	H	6351CAU3.2-4	TA4P0.75	30	D.510.9311.906.317_A	/9311AS04	8	34-3-89-P1	/6351CAU3.2K	7	35-3-106-S2	3414, 3416, 3512, 3507, 3511	
K34	H	6356.002-003	CAT7	38	D.510.6350.906.101_A	/6356.003	7	34-3-88-0	/6356.002	7	35-3-114-S3	3412, 3414, 3416, 3512, 3507, 3511, 3513, 3515	
K34	H	6359-SI03	TA2P0.75	25	D.510.9311.906.310_C	/9311AS04	7	34-3-89-P1	/6359AIU3	7	35-3-99-S3	34/14, 34/11, 34/13, 34/15, 34/27, 35/1	
K34	H	6359AIU3-4	TA4P0.75	24	D.510.9311.906.317_A	/9311AS03	8	34-3-89-S1	/6359AIU3	8	35-3-99-S3	34/9, 34/11, 34/13, 34/15, 34/27, 35/1	
K34	V	7231.002IB1-2S2	PN7X1.5	52	D.510.9135.906.114_C	/7231.002IB1	8	34-3-80-0	/7231.002S2	11	35--118-S4	3402, 3401, 3403, 3405, 3407, 3517, 3507, 3511, 3513, 3515	
K34	V	7231.003IB1-3S2	PN7X1.5	41	D.510.9135.906.112_C	/7231.003IB1	7	34-3-80-0	/7231.003S2	11	33-3-76-P8	3402, 3401, 3411, P13, 3301, 3302, 3304, 3306	
K34	V	7324V024-1	PN4G1.5	38	D.510.9343.906.302_A	/9343.100	7	34-3-85-P4	/7324V024	9	35-3-99-S10	34/10, 34/12, 34/14, 3405, 3407, 3409, 3501	E
K34	H	7324V024-2	PN4G1.5	38	D.510.9343.906.302_A	/9343.100	7	34-3-85-P4	/7324V024	9	35-3-99-S10	34/10, 34/12, 34/14, 3405, 3407, 3409, 3501	E
K34	V	7324V025-1	PN4G1.5	42	D.510.9343.906.302_A	/9343.100	7	34-3-85-P4	/7324V025	9	35-3-109-S8	34/10, 34/12, 34/14, 3405, 3407, 3409, 3503	E
K34	H	7324V025-2	PN4G1.5	42	D.510.9343.906.302_A	/9343.100	7	34-3-85-P4	/7324V025	9	35-3-109-S8	34/10, 34/12, 34/14, 3405, 3407, 3409, 3503	E
K34	V	7324V026-1	PN4G1.5	56	D.510.9343.906.302_A	/9343.100	6	34-3-85-P4	/7324V026	16	35-3-119-P1	34/24, 34/26, 34/30, 34/32, 35/34, 3512, 3507, 3511, 3513, 3515	E
K34	H	7324V026-2	PN4G1.5	56	D.510.9343.906.302_A	/9343.100	6	34-3-85-P4	/7324V026	16	35-3-119-P1	34/24, 34/26, 34/30, 34/32, 35/34, 3512, 3507, 3511, 3513, 3515	E
K34	V	7324V027-1	PN4G1.5	36	D.510.9343.906.302_A	/9343.100	6	34-3-85-P4	/7324V027	9	35-3-108-P7	34/24, 34/42, 34/46, 35/2, 3502, 3504	E
K34	H	7324V027-2	PN4G1.5	36	D.510.9343.906.302_A	/9343.100	6	34-3-85-P4	/7324V027	9	35-3-108-P7	34/24, 34/42, 34/46, 35/2, 3502, 3504	E
K34	V	7324V028-1	PN4G1.5	27	D.510.9343.906.302_A	/9343.100	6	34-3-85-P4	/7324V028	7	35-3-99-P10	34/24, 34/42, 34/46, 35/2	E
K34	H	7324V028-2	PN4G1.5	27	D.510.9343.906.302_A	/9343.100	6	34-3-85-P4	/7324V028	7	35-3-99-P10	34/24, 34/42, 34/46, 35/2	E
K34	V	7324V042-1	PN4G1.5	49	D.510.9343.906.302_A	/9343.100	6	34-3-85-P4	/7324V042	9	35-3-114-S5	34/24, 34/26, 34/30, 34/32, 35/34, 3512, 3507, 3511, 3513, 3515	E
K34	H	7324V042-2	PN4G1.5	49	D.510.9343.906.302_A	/9343.100	6	34-3-85-P4	/7324V042	9	35-3-114-S5	34/24, 34/26, 34/30, 34/32, 35/34, 3512, 3507, 3511, 3513, 3515	E

K34	V	7324V027-1	PN4G1.5	36	D.510.9343.906.302_A /9343.100	6	34-3-85-P4	/7324V027	9	35-3-108-P7	34/24, 34/42, 34/46, 35/2, 3502, 3504	E
K34	H	7324V027-2	PN4G1.5	36	D.510.9343.906.302_A /9343.100	6	34-3-85-P4	/7324V027	9	35-3-108-P7	34/24, 34/42, 34/46, 35/2, 3502, 3504	E
K34	V	7324V028-1	PN4G1.5	27	D.510.9343.906.302_A /9343.100	6	34-3-85-P4	/7324V028	7	35-3-99-P10	34/24, 34/42, 34/46, 35/2	E
K34	H	7324V028-2	PN4G1.5	27	D.510.9343.906.302_A /9343.100	6	34-3-85-P4	/7324V028	7	35-3-99-P10	34/24, 34/42, 34/46, 35/2	E
K34	V	7324V042-1	PN4G1.5	49	D.510.9343.906.302_A /9343.100	6	34-3-85-P4	/7324V042	9	35-3-114-S5	34/24, 34/26, 34/30, 34/32, 35/34, 3512, 3507, 3511, 3513, 3515	E
K34	H	7324V042-2	PN4G1.5	49	D.510.9343.906.302_A /9343.100	6	34-3-85-P4	/7324V042	9	35-3-114-S5	34/24, 34/26, 34/30, 34/32, 35/34, 3512, 3507, 3511, 3513, 3515	E
K34	V	7324V043-1	PN4G1.5	43	D.510.9343.906.302_A /9343.100	6	34-3-85-P4	/7324V043	10	35-3-113-P5	34/24, 34/42, 34/46, 35/2, 3502, 3508	
K34	H	7324V043-2	PN4G1.5	43	D.510.9343.906.302_A /9343.100	6	34-3-85-P4	/7324V043	10	35-3-113-P5	34/24, 34/42, 34/46, 35/2, 3502, 3508	
K34	V	9318H41.11-H41.1	PF19X1.5	28	D.510.9318.906.301_A /9318H41.10	7	34-90-P7	/9318H41.11	7	35-100-P2	3434, 3436, 3418, 3512, 3510	
K34	V	ELB32-11.2	PN3G2.5	22	D.510.9661.906.660_A /ELB32X11.2	7	34-3-86-S1	/ELB32X11.2	6	35-3-100-S1	3403, 3405, 3407, 3517	
K34	V	HB32-7351.005	PN3G1.5	32	D.510.7351.906.101_A /HB32	7	34-3-87-S1	/7351.005	8	35-3-99-P9	3403, 3405, 3407, 3517, 3502	
K34	V	HB32-8R3	PN3G1.5	48	D.510.6221.906.103_A /HB32	9	34-3-87-S1	/62228R3	16	35-3-107-P6	3403, 3405, 3407, 3517, 3507, 3506, 3508	
K34	V	HB32-FC3	PN3G1.5	35	D.510.6221.906.103_A /HB32	8	34-3-87-S1	/6222FC3/WCU	17	35-3-104-0	34/7, 34/9, 34/11, 34/13, 34/15, 35/3, 35/5	
K34	V	HB32-T5	PN3G1.5	34	D.510.9121.906.105_A /HB32	8	34-3-87-S1	/9121T5	9	35-3-103-P8	3403, 3405, 3407, 3517, 3502	E
K34	V	HB33-PCU3	PN3G1.5	28	D.510.6221.906.106_B /HB33	8	34-3-88-0	/6222PCU3	8	35-3-103-S3	3412, 3414, 3416, 3512, 3507	E
K34	V	M12.10-T5.01	PC1X150	20	D.510.9110.906.102_B /MS12.10	5	34-3-96-P3	/9121T5	4	35-3-103-P8	34/32, 35/34, 35/40, 34/48, 35/2, 35/8	
K34	V	M12.10-T5.02	PC1X150	20	D.510.9110.906.102_B /MS12.10	5	34-3-96-P3	/9121T5	4	35-3-103-P8	34/32, 35/34, 35/40, 34/48, 35/2, 35/8	
K34	V	M12.10-T5.03	PC1X150	20	D.510.9110.906.102_B /MS12.10	5	34-3-96-P3	/9121T5	4	35-3-103-P8	34/32, 35/34, 35/40, 34/48, 35/2, 35/8	
K34	V	M12.10-T5.04	PC1X150	20	D.510.9110.906.102_B /MS12.10	5	34-3-96-P3	/9121T5	4	35-3-103-P8	34/32, 35/34, 35/40, 34/48, 35/2, 35/8	
K34	V	M12.10-T5.06	PC1X150	20	D.510.9110.906.102_B /MS12.10	5	34-3-96-P3	/9121T5	4	35-3-103-P8	34/32, 35/34, 35/40, 34/48, 35/2, 35/8	
K34	V	MCC2.3-7231.005	PN4G1.5	35	D.510.9135.906.114_C /MCC2.3	6	34-3-94-P1	/7231.005Q2	8	35-104-S9	34/16, 34/18, 34/15, 3517, 3501, 3503	
K34	V	MCC2.3-7231.005	PN3G1.5	35	D.510.9135.906.114_C /MCC2.3	6	34-3-94-P1	/7231.005	8	35-3-104-S9	34/16, 34/18, 34/15, 3517, 3501, 3503	
K34	V	MCC2.3-7231.005	PN7X1.5	35	D.510.9135.906.114_C /MCC2.3	6	34-3-94-P1	/7231.005S1	8	35-104-S9	34/16, 34/18, 34/15, 3517, 3501, 3503	
K34	H	MS11.1-PCU3	TA2P0.75	14	D.510.6221.906.106_B /6222PCU3	6	35-3-103-S3	/MS11.1	5	34-3-97-S3	35/7, 35/5, 35/3, 34/15	E
K34	V	MS11.11-HPU3.2L	2XPC1X70	20	D.510.6221.906.112_A /MS11.11	4	34-3-89-S3	/6351HPU3K	8	35-3-103-S6	34/19, 34/21, 34/23, 35/1	
K34	V	MS11.11-HPU3.2L	2XPC1X70	20	D.510.6221.906.112_A /MS11.11	4	34-3-89-S3	/6351HPU3K	8	35-3-103-S6	34/19, 34/21, 34/23, 35/1	
K34	V	MS11.11-HPU3.2L	2XPC1X70	20	D.510.6221.906.112_A /MS11.11	4	34-3-89-S3	/6351HPU3K	8	35-3-103-S6	34/19, 34/21, 34/23, 35/1	
K34	V	MS11.2-6351CAU3	PN3X50	29	D.510.6351.906.102_A /MS11.2	5	34-3-96-S3	/6351CAU3.1K	6	35-3-106-P2	34/25, 35/1, 3505, 3507, 3506	
K34	V	MS11.2-6351CAU3	PN3X50	24	D.510.6351.906.102_A /MS11.2	5	34-3-96-S3	/6351CAU3.2K	6	35-3-106-S2	34/25, 35/1, 3505, 3507, 3511	
K34	H	MS11.2-PCU3.1	TA8P0.75	16	D.510.6221.906.106_B /6222PCU3	5	35-3-103-S3	/MS11.2	5	34-3-96-S3	35/7, 35/5, 35/3, 34/15, 34/13	E

K34	V	MS11.2-PCU3.2	PN5X1.5	16	D.510.6221.906.106_B	/6222PCU3	5	35-3-103-S3	/MS11.2	5	34-3-96-S3	35/7, 35/5, 35/3, 34/15, 34/13	E
K34	V	MS11.2-T5.01	PCIX150	26	D.510.9110.906.102_B	/MS11.2	5	34-3-96-S3	/9121T5	4	35-3-103-P8	34/13, 34/18, 34/20, 35/34, 35/40, 34/48, 35/2, 35/8	
K34	V	MS11.2-T5.02	PCIX150	26	D.510.9110.906.102_B	/MS11.2	5	34-3-96-S3	/9121T5	4	35-3-103-P8	34/13, 34/18, 34/20, 35/34, 35/40, 34/48, 35/2, 35/8	
K34	V	MS11.2-T5.03	PCIX150	26	D.510.9110.906.102_B	/MS11.2	5	34-3-96-S3	/9121T5	4	35-3-103-P8	34/13, 34/18, 34/20, 35/34, 35/40, 34/48, 35/2, 35/8	
K34	V	MS11.2-T5.04	PCIX150	26	D.510.9110.906.102_B	/MS11.2	5	34-3-96-S3	/9121T5	4	35-3-103-P8	34/13, 34/18, 34/20, 35/34, 35/40, 34/48, 35/2, 35/8	
K34	V	MS11.2-T5.05	PCIX150	26	D.510.9110.906.102_B	/MS11.2	5	34-3-96-S3	/9121T5	4	35-3-103-P8	34/13, 34/18, 34/20, 35/34, 35/40, 34/48, 35/2, 35/8	
K34	V	MS11.2-T5.06	PCIX150	26	D.510.9110.906.102_B	/MS11.2	5	34-3-96-S3	/9121T5	4	35-3-103-P8	34/13, 34/18, 34/20, 35/34, 35/40, 34/48, 35/2, 35/8	
K34	H	MS11.3-PCU3	TA2P0.75	16	D.510.6221.906.106_B	/6222PCU3	5	35-3-103-S3	/MS11.3	5	34-3-94-S3	35/7, 35/5, 35/3, 34/15, 34/13	E
K34	V	MS11.8-PB35	PN3X35	24	D.510.9110.906.102_B	/MS11.8	6	34-3-90-S3	/PB35	6	35-3-99-P5	34/9, 34/11, 34/13, 34/18, 34/20, 35/34, 35/6	
K34	V	MS12.1-HPU3.2L1	2XPIC1X70	27	D.510.6221.906.112_A	/MS12.1	6	34-3-88-P3	/6351HPU3K	8	35-3-103-S6	34/12, 34/7, 34/9, 34/11, 34/13, 34/15, 34/27, 35/1	
K34	V	MS12.1-HPU3.2L2	2XPIC1X70	27	D.510.6221.906.112_A	/MS12.1	6	34-3-88-P3	/6351HPU3K	8	35-3-103-S6	34/12, 34/7, 34/9, 34/11, 34/13, 34/15, 34/27, 35/1	
K34	V	MS12.1-HPU3.2L3	2XPIC1X70	27	D.510.6221.906.112_A	/MS12.1	6	34-3-88-P3	/6351HPU3K	8	35-3-103-S6	34/12, 34/7, 34/9, 34/11, 34/13, 34/15, 34/27, 35/1	
K34	V	MS12.10-6351CAU	PN3X50	31	D.510.6351.906.102_A	/MS12.10	6	34-3-96-P3	/6351CAU3.1K	6	35-3-106-P2	34/18, 34/15, 3517, 3507, 3506	
K34	V	MS12.10-6351CAU	PN3X50	27	D.510.6351.906.102_A	/MS12.10	6	34-3-96-P3	/6351CAU3.2K	6	35-3-106-S2	34/15, 3517, 3507, 3511	
K34	H	MS12.10-PCU3.1	TA8P0.75	20	D.510.6221.906.106_B	/6222PCU3	5	35-3-103-S3	/MS12.10	6	34-3-96-P3	35/7, 35/5, 35/3, 34/15, 34/18	E
K34	V	MS12.10-PCU3.2	PN5X1.5	20	D.510.6221.906.106_B	/6222PCU3	5	35-3-103-S3	/MS12.10	6	34-3-96-P3	35/7, 35/5, 35/3, 34/15, 34/18	E
K34	H	MS12.11-PCU3	TA2P0.75	21	D.510.6221.906.106_B	/6222PCU3	5	35-3-103-S3	/MS12.11	7	34-3-97-P3	35/7, 35/5, 35/3, 34/15, 34/18	E
K34	H	MS12.2-PCU3.1	TA2P0.75	29	D.510.6221.906.106_B	/6222PCU3	5	35-3-103-S3	/MS12.2	7	34-3-89-P3	35/7, 35/5, 35/5, 35/1, 34/27, 34/15, 34/13, 34/11, 34/9, 34/7, 34/12	
K34	H	MS12.2-PCU3.2	TA2P0.75	29	D.510.6221.906.106_B	/6222PCU3	5	35-3-103-S3	/MS12.2	7	34-3-89-P3	35/7, 35/5, 35/5, 35/1, 34/27, 34/15, 34/13, 34/11, 34/9, 34/7, 34/12	
K34	V	MS12.4-PB35	PN3X35	20	D.510.9110.906.102_B	/MS12.4	6	34-3-90-P3	/PB35	6	35-3-99-P5	34/14, 34/16, 34/18, 34/20, 35/34, 35/6	
K34	H	MS12.9-PCU3	TA2P0.75	21	D.510.6221.906.106_B	/6222PCU3	5	35-3-103-S3	/MS12.9	7	34-3-94-P3	35/7, 35/5, 35/3, 34/15, 34/18	
K34	H	PCU3-401	TA2P0.75	28	D.510.9311.906.317_A	/9311AS03	8	34-3-89-S1	/6222PCU3	7	35-3-103-S3	34/9, 34/27, 35/1, 35/5, 35/7	
K34	H	PCU3-PCU1	TA4P0.75	36	D.510.6221.906.104_B	/6222PCU1	8	34-3-79-S1	/6222PCU3	9	35-3-103-S3	1-3, 3403, 3405, 3407, 3517, 3507	E
K34	H	PS1.1-PCU3	TA2P0.75	38	D.510.6221.906.106_B	/6222PCU3	8	35-3-103-S3	/PS1.1	9	34-3-80-S6	3507, 3517, 3407, 3405, 3403, 3401, 3411, 3419	
K34	H	PS1.4-PCU3.1	TA2P0.75	38	D.510.6221.906.106_B	/6222PCU3	8	35-3-103-S3	/PS1.4	11	34-3-83-S6	3507, 3517, 3407, 3405, 3403, 3401, 3411	
K34	H	PS1.4-PCU3.2	TA2P0.75	40	D.510.6221.906.106_B	/6222PCU3	8	35-3-103-S3	/PS1.4	11	34-3-83-S6	3507, 3517, 3407, 3405, 3403, 3401, 3411, 3419	
K34	H	PS1.6-PCU3.1	TA2P0.75	34	D.510.6221.906.106_B	/6222PCU3	8	35-3-103-S3	/PS1.6	11	34-3-85-S6	3507, 3517, 3409, 3417, 3415, 3423	
K34	H	PS1.6-PCU3.2	TA2P0.75	34	D.510.6221.906.106_B	/6222PCU3	8	35-3-103-S3	/PS1.6	11	34-3-85-S6	3507, 3517, 3409, 3417, 3415, 3423	

K34	V	PS1.9-FC3.1	PN7X1.5	46	D.510.6221.906.103_A	/PS1.9	8	34-3-87-S6	/6222FC3/WCU	17	35-3-104-0	3423, 3415, 3417, 3409, 34/15, 34/27, 35/1, 35/5, 35/5	
K34	V	PS1.9-FC3.2	PN5X1.5	46	D.510.6221.906.103_A	/PS1.9	8	34-3-87-S6	/6222FC3/WCU	17	35-3-104-0	3423, 3415, 3417, 3409, 34/15, 34/27, 35/1, 35/5, 35/5	E
K34	V	PS1.9-FC3.3	PN3G1.5	46	D.510.6221.906.103_A	/PS1.9	8	34-3-87-S6	/6222FC3/WCU	17	35-3-104-0	3423, 3415, 3417, 3409, 34/15, 34/27, 35/1, 35/5, 35/5	
K34	H	PS1.9-FC3.4	TA4P0.75	46	D.510.6221.906.103_A	/PS1.9	8	34-3-87-S6	/6222FC3/WCU	17	35-3-104-0	3423, 3415, 3417, 3409, 34/15, 34/27, 35/1, 35/5, 35/5	E
K34	V	PS1.9-FC3.5	PN3G1.5	46	D.510.6221.906.103_A	/PS1.9	8	34-3-87-S6	/6222FC3/WCU	17	35-3-104-0	3423, 3415, 3417, 3409, 34/15, 34/27, 35/1, 35/5, 35/5	E
K34	H	PS1.9-PCU3.1	TA2P0.75	33	D.510.6221.906.106_B	/6222PCU3	9	35-3-103-S3	/PS1.9	9	34-3-87-S6	3507, 3517, 3409, 3417, 3415, 3423	
K34	H	PS1.9-PCU3.2	TA4P0.75	33	D.510.6221.906.106_B	/6222PCU3	9	35-3-103-S3	/PS1.9	9	34-3-87-S6	3507, 3517, 3409, 3417, 3415, 3423	
K34	V	PS1.9-PCU3.3	PN3G1.5	33	D.510.6221.906.106_B	/6222PCU3	9	35-3-103-S3	/PS1.9	9	34-3-87-S6	3507, 3517, 3409, 3417, 3415, 3423	
K34	V	PS2.1-FC3.1	PN7X1.5	39	D.510.6221.906.103_A	/PS2.1	8	34-3-87-P6	/6222FC3/WCU	16	35-3-104-0	3432, 3438, 3440, 34/38, 35/40, 35/34, 35/6	E
K34	V	PS2.1-FC3.2	PN5X1.5	39	D.510.6221.906.103_A	/PS2.1	8	34-3-87-P6	/6222FC3/WCU	16	35-3-104-0	3432, 3438, 3440, 34/38, 35/40, 35/34, 35/6	E
K34	V	PS2.1-FC3.3	PN3G1.5	39	D.510.6221.906.103_A	/PS2.1	8	34-3-87-P6	/6222FC3/WCU	16	35-3-104-0	3432, 3438, 3440, 34/38, 35/40, 35/34, 35/6	E
K34	H	PS2.1-FC3.4	TA4P0.75	39	D.510.6221.906.103_A	/PS2.1	8	34-3-87-P6	/6222FC3/WCU	16	35-3-104-0	3432, 3438, 3440, 34/38, 35/40, 35/34, 35/6	E
K34	V	PS2.1-FC3.5	PN3G1.5	39	D.510.6221.906.103_A	/PS2.1	8	34-3-87-P6	/6222FC3/WCU	16	35-3-104-0	3432, 3438, 3440, 34/38, 35/40, 35/34, 35/6	E
K34	H	PS2.1-PCU3.1	TA2P0.75	35	D.510.6221.906.106_B	/6222PCU3	9	35-3-103-S3	/PS2.1	8	34-3-87-P6	3507, 3512, 3418, 3424, 3432	
K34	H	PS2.1-PCU3.2	TA4P0.75	35	D.510.6221.906.106_B	/6222PCU3	9	35-3-103-S3	/PS2.1	8	34-3-87-P6	3507, 3512, 3418, 3424, 3432	
K34	V	PS2.1-PCU3.3	PN3G1.5	35	D.510.6221.906.106_B	/6222PCU3	9	35-3-103-S3	/PS2.1	8	34-3-87-P6	3507, 3512, 3418, 3424, 3432	
K34	H	PS2.3-PCU3.1	TA2P0.75	35	D.510.6221.906.106_B	/6222PCU3	8	35-3-103-S3	/PS2.3	9	34-3-85-P6	3507, 3512, 3418, 3424, 3432	
K34	H	PS2.3-PCU3.2	TA2P0.75	35	D.510.6221.906.106_B	/6222PCU3	8	35-3-103-S3	/PS2.3	9	34-3-85-P6	3507, 3512, 3418, 3424, 3432	
K34	H	PS2.5-PCU3.1	TA2P0.75	37	D.510.6221.906.106_B	/6222PCU3	8	35-3-103-S3	/PS2.5	11	34-3-83-P6	3507, 3512, 3418, 3424, 3432	
K34	H	PS2.5-PCU3.2	TA2P0.75	37	D.510.6221.906.106_B	/6222PCU3	8	35-3-103-S3	/PS2.5	11	34-3-83-P6	3507, 3512, 3418, 3424, 3432	
K34	H	PS2.8-PCU3	TA2P0.75	42	D.510.6221.906.106_B	/6222PCU3	8	35-3-103-S3	/PS2.8	8	34-3-80-P6	3507, 3512, 3418, 3420, 3428, 3430	
K34	H	T5-400	TA8P0.75	32	D.510.9311.906.317_A	/9311AS04	8	34-3-89-P1	/9121T5	12	35-3-103-P8	34/14, 35/34, 35/40, 34/48, 35/2	
K34	V	UOB1-UOB3A	PN3X10	37	D.510.6221.906.117_A	/6222UOB1	7	34-3-82-S4	/6222UOB3	7	35-3-99-P8	3413, 3415, 3417, 3409, 3517, 3502	
K34	V	UOB2-UOB3A	PN3X10	36	D.510.6221.906.118_A	/6222UOB2	6	34-3-83-0	/6222UOB3	7	35-3-99-P8	34/52, 34/8, 34/10, 34/42, 34/46, 35/2, 3502	
K34	H	UOB3-400	TA4P0.75	28	D.510.9311.906.318_A	/9311AS04	9	34-3-89-P1	/6222UOB3	7	35-3-99-P8	34/14, 34/16, 34/18, 34/20, 35/34, 35/40, 34/48, 35/2	
K34	V	UOB3-UOB1A	PN3X10	37	D.510.6221.906.117_A	/6222UOB1	7	34-3-82-S4	/6222UOB3	7	35-3-99-P8	3413, 3415, 3417, 3409, 3517, 3502	E
K34	V	UOB3-UOB1B	PN3X6	37	D.510.6221.906.117_A	/6222UOB1	7	34-3-82-S4	/6222UOB3	7	35-3-99-P8	3413, 3415, 3417, 3409, 3517, 3502	
K34	V	UOB3-UOB2A	PN3X10	36	D.510.6221.906.118_A	/6222UOB2	6	34-3-83-0	/6222UOB3	7	35-3-99-P8	34/52, 34/8, 34/10, 34/42, 34/46, 35/2, 3502	E
K34	V	UOB3-UOB2B	PN3X6	36	D.510.6221.906.118_A	/6222UOB2	6	34-3-83-0	/6222UOB3	7	35-3-99-P8	34/52, 34/8, 34/10, 34/42, 34/46, 35/2, 3502	E
K34	V	UOB34-6356.002	PN3G1.5	36	D.510.6350.906.101_A	/UOB34	7	34-3-87-S1	/6356.002	7	35-3-114-S3	3403, 3405, 3407, 3517, 3507, 3511, 3513, 3515	

Mittauspöytäkirja

Liite poistettu insinööriyön julkisesta versiosta.

Kustannuslaskelma

Liite poistettu insinööriyön julkisesta versiosta.